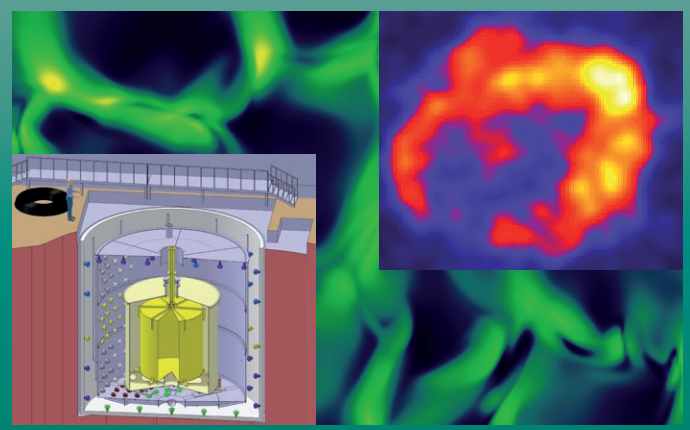
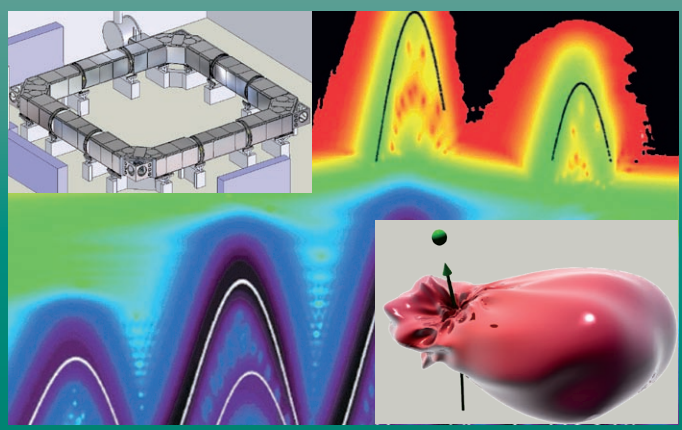
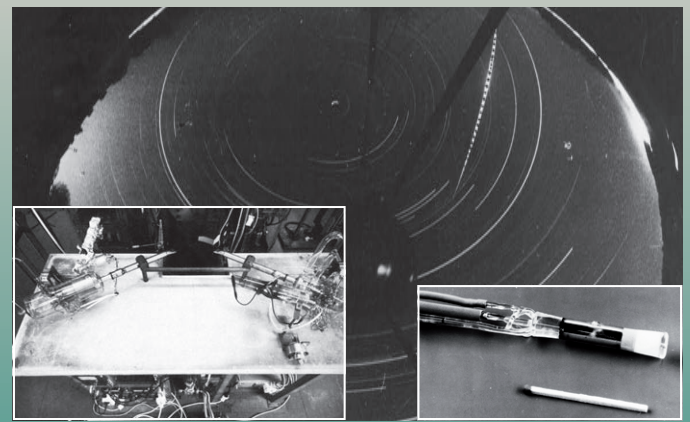
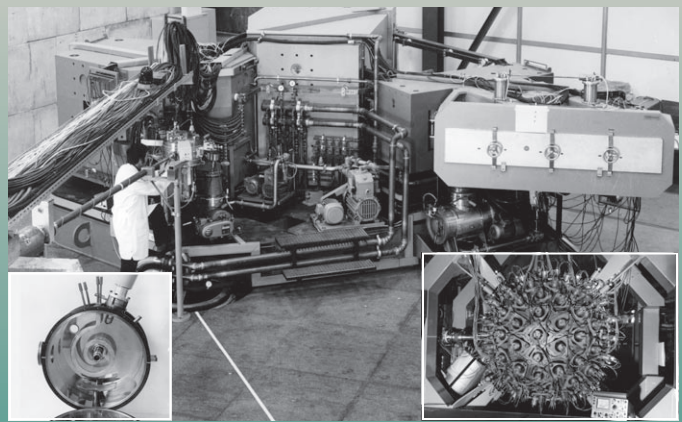


Von Kernphysik und Kosmochemie zu Quantendynamik und Astroteilchenphysik





50 JAHRE MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR KERNPHYSIK

Von Kernphysik und Kosmochemie zu Quantendynamik und Astroteilchenphysik

Abbildungen auf der Titelseite:

Oben links: Im Hintergrund der Q3D-Magnetspektrograph, der auf einem Luftkissen über einer Granitplatte von 8,8 m Durchmesser gelagert war; links im Bild das Strahlrohr zur Streukammer in der Mitte der Platte, hinten die drei Dipole und rechts die ortsbestimmenden Zählkammern. Davor ein Spiralresonator des am Institut entwickelten Nachbeschleunigers und das Kristallkugelspektrometer mit 162 NaI-Detektoren und wenigen Ge-Zählern.

Unten links: Im Hintergrund das ab initio berechnete Spektrum höherer Harmonischer bei einfacher (unten) und doppelter (oben) Rekombination nach Mehrfachionisation in einem intensiven Laserpuls. Davor die mit einem Reaktionsmikroskop gemessene Winkel- und Energieverteilung der bei einem Ion-Atom-Stoß freigesetzten Elektronen und eine Konstruktions-skizze des ultrakalten Speicherrings CSR.

Oben rechts: Im Hintergrund die Leuchtspur eines Meteoriten, aufgenommen mit der Meteoritenortungskamera, die auf dem Dach des Wolfgang-Gentner-Laboratoriums bis 1993 betrieben wurde. Davor ein Massenspektrometer zur Messung von Edelgasen, rechts die Ionenquelle, in der Mitte der Trennmagnet und links der Ionendetektor, sowie ein von den Glasbläsern des Instituts gefertigtes Proportionalzählrohr in Miniaturbauweise für extrem geringe Zählraten.

Unten rechts: Im Hintergrund das berechnete turbulente Magnetfeld, das im Vorfeld einer Schockwelle von beschleunigten Teilchen der kosmischen Strahlung erzeugt wird. Davor der Supernovaüberrest RXJ1713.7-3946 im hochenergetischen Gammalicht, beobachtet von den H.E.S.S.-Teleskopen, und eine Konstruktions-skizze eines Detektors für das Double-Chooz-Experiment zur Aufklärung der Neutrinooszillationen.

Ein Überblick über die Geschichte des Instituts: seine Direktoren, Einrichtungen und Forschungsgebiete

Herausgeber:

MPI für Kernphysik, Öffentlichkeitsarbeit, 2008

Redaktion: Bernold Feuerstein, Gertrud Hönes

unter Mitwirkung von Frank Arnold, Eberhard Grün, Werner Heibel, Till Kirsten, Wolfgang Krätschmer, Bernd Martin, Bogdan Povh, Roland Repnow, Horst Schmidt-Böcking, Gernot Vogt, Heinrich J. Völk, Hans A. Weidenmüller, Andreas Wolf.

Unser Dank gilt all denen, die zur Entstehung dieser Festschrift beigetragen haben.

Vorgeschichte: Institut für Physik im KWI/MPI für medizinische Forschung

Das Max-Planck-Institut für Kernphysik ist aus dem ebenfalls in Heidelberg ansässigen Kaiser-Wilhelm-/Max-Planck-Institut für medizinische Forschung hervorgegangen. Dessen erster Geschäftsführender Direktor, Ludolf von Krehl (1861–1937), war davon überzeugt, dass „naturwissenschaftlich-medizinische Forschung oft dann den Kliniken reichsten Segen bringt, wenn sie sich von der Klinik ganz zu entfernen scheint.“ Die Entdeckung der Röntgenstrahlen, aber auch des Penicillins, oder später die Anwendung von Radioisotopen in der Medizin haben ihm recht gegeben. Neben Teilinstituten für Physiologie und Pathologie bildeten daher auch Institute für Chemie und für Physik die vier Eckpfeiler des 1930 gegründeten Kaiser-Wilhelm-Instituts für medizinische Forschung. Erster Leiter des Instituts für Physik war Karl Wilhelm Hausser (1887–1933), der die Lichteinwirkung auf biologische Systeme untersuchte. Als Walther Bothe die Leitung 1934 übernahm, legte er den Grundstein für die kernphysikalische Forschung in Deutschland.



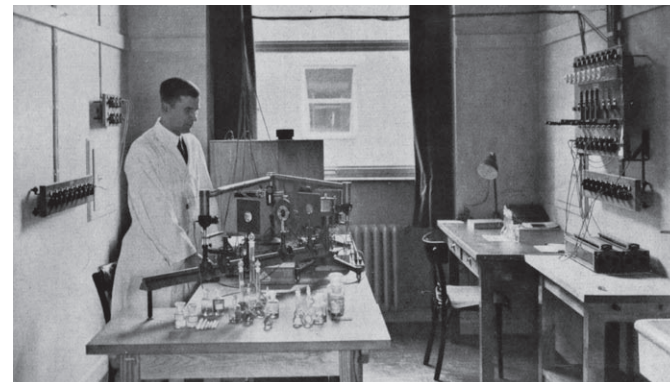
Das Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung 1931.

Walther Bothe (1891–1957) war einer der wenigen, der seine Doktorarbeit bei Max Planck angefertigt hat. Danach arbeitete Bothe zusammen mit Hans Geiger an elektrischen Zählmethoden für radioaktive Strahlungen und schuf damit die Voraussetzungen für die Lösung kernphysikalischer Probleme. Die von Bothe entwickelte Koinzidenz-Methode lieferte nicht nur Aufschlüsse über die Natur der kosmischen Strahlung durch den Nachweis extrem energiereicher Teilchen, sie wurde überdies zu einer der wichtigsten Messmöglichkeiten in der Kernphysik. Dafür erhielt er 1954 als erstes Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft nach 1945 den Nobelpreis für Physik (zusammen mit Max Born). Die von Bothe bei Versuchen mit Radium und Beryllium entdeckte harte Gammastrahlung

wies den Weg zum Neutron, das wiederum zum Werkzeug der 1938 von Otto Hahn und Fritz Strassmann entdeckten Uranspaltung geworden ist.

Bis dahin war die von natürlichen radioaktiven Substanzen ausgehende Strahlung das einzige Mittel für die Untersuchung der Atomstruktur der Materie gewesen. Als sich technische Möglichkeiten abzeichneten, Atomkerne und Bruchstücke davon auch künstlich auf Geschwindigkeiten weit über jene der natürlichen Strahlungen zu beschleunigen, begann Walther Bothe zusammen mit Wolfgang Gentner ab 1936 solche Maschinen zu bauen – die ersten Teilchenbeschleuniger in Deutschland. Zunächst war dies ein elektrostatischer Hochspannungsgenerator nach dem von dem holländischen Physiker Robert van de Graaff entwickelten Prinzip und dann ein Kreisbeschleuniger (Zyklotron), der 1944 den Betrieb aufnahm. Unter seinem Direktor Walther Bothe war somit das Teilinstitut für Physik im Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg zu einem anerkannten Laboratorium für kernphysikalische Forschung in Deutschland geworden.

Als Walther Bothe am 8. Februar 1957 starb, liefen dort eine Reihe kernphysikalischer Untersuchungen zum Betazerfall und die Experimente von Rudolf Mößbauer, die zur Entdeckung des nach ihm benannten Effekts führten: Der Senat der Max-Planck-Gesellschaft musste über die Weiterentwicklung des Instituts entscheiden. Er beschloss im Juni 1957, Wolfgang Gentner als Nachfolger zu berufen.



Ein Labor- und Arbeitszimmer im Institut für Physik 1931.



Walther Bothe

Die Gründung des Max-Planck-Instituts für Kernphysik

Bei den Verhandlungen des Generalsekretärs der MPG mit Wolfgang Gentner über die Nachfolge Walther Bothes ergab sich, „dass im Falle einer Annahme des Rufes durch ihn das bisherige Institut für Physik aus dem Rahmen des Gesamtinstituts für medizinische Forschung herauswachsen würde und eine Verselbständigung dieses Instituts vorgenommen werden müsste, eine Entwicklung, die sich zur Zeit von Herrn Professor Bothe bereits angebahnt hatte“. Gentner hatte wegen seiner Pläne auch mit Werner Heisenberg Kontakt aufgenommen, wobei man im neuen Gentnerschen Institut keinerlei Konkurrenz zum Heisenbergschen Institut sah. Auch Richard Kuhn, Direktor des MPI für medizinische Forschung, sprach sich ausdrücklich für diese Pläne aus.

Unmittelbar nach der entsprechenden Sitzung des Senats der MPG erhob Heisenberg dann aber doch noch Einwände gegen die Gründung eines neuen Instituts. Das Senatsprotokoll vermerkt dazu: „Herr Heisenberg gibt zu bedenken, ob es zweckmäßig sein würde, ein solches Institut in Heidelberg zu errichten und weist daraufhin, dass der Plan, den einzigen großen Beschleuniger zu bauen, in Hamburg verwirklicht werden soll. Herr Heisenberg spricht sich ausdrücklich dafür aus, Herrn Professor Gentner für die Max-Planck-Gesellschaft zu gewinnen. Er ist jedoch der Ansicht, dass die Standortfrage zunächst geprüft werden müsse und daß auch Herr Gentner gefragt werden solle, ob er nicht vorziehen würde, mit dem für Deutschland größten und modernsten geplanten Beschleuniger in Hamburg zu arbeiten als mit einem bedeutend kleineren in Heidelberg.“

Der Beschluss des Senats lautete schließlich: „Auf Wunsch von Herrn Heisenberg erklärt sich der Senat damit einverstanden, dass Herr Heisenberg im Hinblick auf eine rationelle Planung unter übergeordneten Gesichtspunkten die Frage des Standorts des geplanten Instituts für Herrn Prof. Gentner in dem Arbeitsausschuss für Kernphysik des Atomministeriums zur Sprache bringt, dem auch Herr Gentner angehört. Da der Plan für Herrn Gentner dem Senat noch nicht spruchreif erscheint, stellt der Senat die Beschlussfassung zurück und beauftragt die G.V., die weiteren Verhandlungen zu führen.“

Die Sitzung des Arbeitsausschusses fand am 13. Januar 1958 im Ministerium in Bad Godesberg statt. In seiner Sitzung am 27. März 1958 in Ludwigshafen fasste der Senat der MPG die Situation dann zusammen und stellte fest: „Der Arbeitsausschuss hat sich für Heidelberg ausgesprochen und auch

Herr Heisenberg hält nunmehr den Standort Heidelberg für zweckmäßig.“ Damit war die Berufung Wolfgang Gentners zum Direktor des neu zu gründenden MPI für Kernphysik endgültig beschlossen.

Zum 1. Oktober 1958 nahm Gentner den Ruf als Direktor des neu gegründeten MPI für Kernphysik in Heidelberg an, ließ sich aber schon ab 1. April 1958 zum Kommissarischen Direktor des Instituts für Physik im MPI für medizinische Forschung ernennen. Diese Ernennung war mit einer deutlichen Erhöhung des Institutsetats verbunden, was erlaubte, sofort mit der Planung eines abgeschirmten Raumes für den abgelenkten Strahl des Zyklotrons zu beginnen und diesen in den Sommerferien bauen zu lassen. Für alle Apparaturen im Institut konnte jetzt moderne Elektronik angeschafft werden, und die Reisekosten für Dienstreisen und Tagungsbesuche mussten nicht mehr aus der eigenen Tasche bezahlt werden.

Die Stadt Heidelberg hatte sich bereit erklärt, ein Gelände für das neue Institut kostenlos zur Verfügung zu stellen. Als geeignet erwies sich ein völlig verwildertes Waldgelände um einen ehemaligen Schießstand im Süden 200 m über der Stadt. 1960 begannen dort die Bauarbeiten an der Halle für den 6-MV-Tandem-Van-de-Graaff-Beschleuniger. Erste wissenschaftliche Ziele waren die Aufklärung der Struktur der Atomkerne und das Verständnis des Mechanismus von Kernreaktionen sowie die Anwendung atom- und kernphysikalischer Methoden auf Probleme der Kosmochemie.



Offizielle Eröffnung des MPIK am 8. November 1962: Wolfgang Gentner mit Otto Hahn, Siegfried Balke (Bundesminister für Atomkernenergieforschung) und Werner Heisenberg.

Die früheren Direktoren

Wolfgang Gentner

(1906–1980)

Direktor am Institut von 1958 bis 1974



Strahlen-Biophysik, Kernphysik, Kernphotoeffekt, Beschleunigerentwicklung, Geochronologie, Kosmochemie, Archäometrie

Studium der Physik in Erlangen und Frankfurt, Promotion Univ. Frankfurt (1930), am Radiuminstitut bei Marie Curie, Paris (1933-1935), bei Walther Bothe am KWImF, Heidelberg (1935-1946), Forschungsaufenthalt in Berkeley (1938), Paris (1940-1941), o. Professor Univ. Freiburg (1946-1957).

Präsident der Heidelberger Akademie der Wissenschaften (1964-1968), Vorsitzender der CPT-Sektion (1967-1969), Vizepräsident der MPG (1972-1978), Officier de la Legion d'Honneur, Frankreich (1965), Mitglied des Ordens Pour le Merite (1974, ab 1976 Vizekanzler).

W. Gentner war wesentlich an der Gründung des CERN beteiligt; er war zusammen mit W. Heisenberg und A. Hocker Mitglied der deutschen Delegation im ab 1951 tagenden Vorbereitungsausschuss und wirkte nach Gründung des CERN-Rates 1952 an den Planungen für das Synchrozyklotron und das Protonensynchrotron mit. Von 1955 bis 1959 war er Direktor der Abteilung Synchrozyklotron und Direktor der Forschung des CERN und 1972-1974 Präsident des CERN-Rates.

Auch zur Gründung der GSI 1969 trug W. Gentner entscheidend bei und war erster Vorsitzender des wissenschaftlichen Rates der GSI, zu der das MPIK enge Beziehungen pflegt.

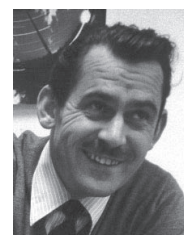
Die Reise im Dezember 1959 von W. Gentner mit seiner Frau, O. Hahn und F. Lynen nach Israel wurde zu einem Meilenstein in der Begründung der deutsch-israelischen Wissenschaftsbeziehungen, deren Etablierung und weitere Entwicklung von ihm vorangetrieben wurde. In Anerkennung dieser Pionierrolle ernannte ihn das Weizmann-Institut 1965 zum Ehrenmitglied und 1975 zum einzigen deutschen Mitglied des Board of Governors. Nach seinem Tod wurde ein Gentner-Lehrstuhl am Weizmann-Institut eingerichtet und die regelmäßigen Minerva-Symposien erhielten den Namen Gentner-Sympo-

sien. 1964 wurde der deutsch-israelische Wissenschaftleraus-tausch durch einen Vertrag zwischen dem Weizmann-Institut und der Minerva GmbH institutionalisiert. Das Büro der daraus hervorgegangenen Minerva-Stiftung war bis Ende 2002 am MPIK angesiedelt.

W. Gentner konnte die guten Beziehungen zu französischen Kollegen um F. Joliot, die er bei seinem ersten Aufenthalt am Radiuminstitut aufgebaut hatte, auch während des Krieges aufrechterhalten und die Kollegen unterstützen, als er an das besetzte Institut in Paris abkommandiert worden war.

So ist es auch zu verstehen, dass er nach dem Krieg den Ruf nach Freiburg, also in die damalige französische Besatzungszone, anderen Rufen vorzog, um dort das zerstörte Physikalische Institut wieder aufzubauen. Außerdem waren ihm die nach Hechingen ausgelagerten ehemaligen Kaiser-Wilhelm-Institute unterstellt. Mit deren kernphysikalischer Abteilung konnte er seine Forschungsmöglichkeiten in den ersten Nachkriegsjahren wesentlich erweitern.

W. Gentner reiste mit einer Delegation der Max-Planck-Gesellschaft 1974 nach China, die einen Neubeginn der Beziehungen nach der Kulturrevolution vereinbaren konnte.



Josef Zähringer

(1929–1970)

Direktor am Institut von 1966 bis 1970

Edelgas-Isotopenanalyse, Low-Level-Messungen, Geochronologie, Kosmochemie, Meteorite, Tektite, Mondgestein, Atmosphärenforschung

Studium der Physik, Mathematik, Chemie und Mineralogie in Freiburg und Göttingen, Promotion bei Wolfgang Gentner Univ. Freiburg (1956), Postdoc Brookhaven National Laboratory (1956-1958), Habilitation Univ. Heidelberg (1963), ab 1958 am MPIK, wesentliche Mitarbeit beim Aufbau des Instituts, insbesondere der Kosmochemie, ab 1964 wissenschaftliches Mitglied.

Nach Josef Zähringer wurde 1976 ein kleiner Einschlagkrater nahe dem südöstlichen Rand des Mare Tranquillitatis auf dem Mond benannt.

Ulrich Schmidt-Rohr

(1926–2006)

Direktor am Institut von 1966 bis 1994



Beschleunigerphysik, Kernreaktionsmodelle und Paritätsverletzung, Schalenstruktur der Atomkerne, Kernspektroskopie

Studium der Physik in Berlin, Braunschweig und Heidelberg, Promotion bei Walther Bothe Univ. Heidelberg (1953), FSSP Fellow MIT Boston (1954), Assistent am Institut für Physik im MPIImF Heidelberg: beteiligt am Umbau des Zyklotrons (1955-1960), Habilitation (1960), Wissenschaftliches Mitglied am MPIK (1960-1962), Direktor des Instituts für Kernphysik an der KFA Jülich (1963-1965), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (1966-1994).

Vorsitzender DPG-Fachausschuss Kernphysik, Mitglied im DPG-Vorstandsrat, Initiator des Arbeitstreffens Kernphysik.



Hans Arwed Weidenmüller

(geb. 1933)

Direktor am Institut von 1968 bis 2001

Stochastisches Verhalten stark wechselwirkender Quantensysteme, Streutheorie, Theorie der Zufallsmatrizen, Supersymmetrie

Studium der Physik in Bonn und Heidelberg, Promotion Univ. Heidelberg (1957), Postdoc Univ. Minnesota (1958-1959) und California Inst. of Technology (1959-1960), Assistant Professor California Inst. of Technology (1960-1962), o. Professor für theoretische Physik Univ. Heidelberg (seit 1963).

Vorstand Weizmann Institute of Science, Rehovot (seit 1983), Senator der MPG (1993-1999), Vorsitzender Auswahl-schuss Max-Planck-Forschungspreis (1995-2001), Heidelberger Akademie der Wissenschaften und Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Max-Planck-Medaille.

Peter Brix

(1918–2007)

Direktor am Institut von 1972 bis 1986



Experimentelle Bestimmung von Kernmomenten, -radien und -anregungen, Kernstrukturphysik, Schwerionenphysik, Beschleunigerentwicklung

Studium der Physik in Kiel, Rochester und Berlin, Promotion (1946) Habilitation (1952) Univ. Göttingen, Postdoc National Research Council of Canada in Ottawa, Dozent Univ. Heidelberg (1953-1956), Professor TH Darmstadt (1957-1972), o. Professor Univ. Heidelberg (ab 1972).

Maßgeblich beteiligt an der Gründung der GSI, Vizepräsident der DFG, Mitglied im Wissenschaftlichen Rat von DESY, GSI und HMI, Vorsitzender DPG-Fachausschuss Kernphysik, Heidelberger Akademie der Wissenschaften und Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina.



Hugo Fechtig

(geb. 1929)

Direktor am Institut von 1974 bis 1994

Kosmischer Staub, Mondgestein, Experimente mit Höhenforschungsraketen und Raumsonden, Gasdiffusion in Meteoriten

Studium der Physik, Promotion bei Wolfgang Gentner Univ. Freiburg (1958), Assistent am MPIK (1958-1962), Univ. California und Air Force Cambridge Research Laboratories (1962-1963), Wissenschaftlicher Mitarb. am MPIK (1965-1974), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (1975-1994), Smithsonian Astrophys. Obs. (1977), Distinguished Visiting Scientist JPL (seit 1984).

Mitglied Space Science Advisory Committee ESA (1984-1986), Mitinitiator der Giotto- und Rosetta-Missionen der ESA. Nach Hugo Fechtig wurde 1991 ein Planetoid benannt.

Heinrich J. Völk

(geb. 1936)

Direktor am Institut von 1975 bis 2004



Entstehung des Sonnensystems, Sternentstehung in Galaxien, Physik astrophysikalischer Plasmen, Hochenergie-Gammaastronomie

Studium der Physik, Promotion Univ. München (1965), MIT, Cambridge, USA (1965-1967), MPI f. extraterrestrische Physik (1967-1974), Research Fellow Enrico Fermi Inst, Chicago (1973-1974), Habilitation im Fach Physik TU München (1974) Honorarprofessor der Univ. Heidelberg (1976-2004), Distinguished Visiting Professor der Univ. of Chicago (1982). Academia Europaea, London (seit 1988), Vorsitzender der Präsidentenkommission „Astronomie“ der MPG (1991-1992), Victor Hess Memorial Lecture (2001), Koordinator LEA Gamma-Ray Astronomy at High Energies (2001-2005).



Bogdan Povh

(geb. 1932)

Direktor am Institut von 1975 bis 2000

Physik Hadronischer Systeme, Hyperkerne, tiefinelastische Streuung, Hochenergie-Kernphysik, Schwermetalle in Pflanzen

Studium der Physik, Promotion Univ. Ljubljana (1960), California Inst. of Technol. (1957-1959), Habilitation Univ. Freiburg (1964), Professor Univ. Heidelberg (seit 1965), Leiter einer Gastgruppe am CERN (ab 1968), Forschungsaufenthalte am CERN (1969-1970 und 1983-1984), Berkeley (1972-1973), Los Alamos (1988-1989), Gastprofessor Univ. California, Berkely (1997).

Herausgeber der Zeitschrift für Physik A, später The European Physical Journal A (1978-2000, ab 1989 leitend), Stern-Gerlach-Medaille (2005).

Dirk Schwalm

(geb. 1940)

Direktor am Institut von 1993 bis 2005



Atomphysik, Molekülphysik und Kernphysik mit energetischen schweren Ionen, Beschleunigerentwicklung

Studium der Physik in Tübingen, Freiburg und Heidelberg, Promotion Univ. Heidelberg (1969), Brookhaven National Lab. (1970-1972), Habilitation Univ. Heidelberg (1974), Leitender Wissenschaftler bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt (1976-1981), o. Professor für Experimentalphysik Univ. Heidelberg (1981-1993), Dekan der Fakultät für Physik und Astronomie Univ. Heidelberg (1987-1988), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (1993-2005).

Joseph Meyerhof Visiting Professor, Physics Department, The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel (seit 2006).



Konrad Mauersberger

(geb. 1938)

Direktor am Institut von 1994 bis 2003

Physikalische und chemische Atmosphärenprozesse, Ozonisotopiestudien, Aerosolbildungsprozesse, polare Stratosphärenwolken, Labor- und Feldexperimente.

Studium der Physik in Hamburg und Bonn, Promotion Univ. Bonn (1968), Research Associate (1968), Assistant Professor (1974), Associate Professor (1977) und Professor Univ. of Minnesota (1982), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (1994-2003).

Academia Europaea, London (seit 1999).

Die heutigen Direktoren

Werner Hofmann

(geb. 1952)

leitet seit 1988 die Abteilung

Teilchenphysik und Hochenergie-Astrophysik



Studium der Physik, Promotion Univ. Karlsruhe (1977), Habilitation im Fach Physik Univ. Dortmund (1980), Heisenberg-Stipendiat (1981), Assistant Professor (1984), Associate Professor (1985) und Professor (1987) Univ. Berkeley/USA, Honorarprofessor Univ. Heidelberg (seit 1989). Descartes Research Prize für H.E.S.S. (2006).



Joachim H. Ullrich

(geb. 1956)

leitet seit 2001 die Abteilung

Experimentelle Mehrteilchen-Quantendynamik

Studium der Geophysik und Physik, Promotion (1987), Habilitation Univ. Frankfurt (1994), GSI (1989), Kansas State Univ., Univ. of Missouri Rolla (1995), o. Professor Univ. Freiburg (1997), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (2001), Consultant Professor Fudan University, Shanghai (seit 2003), Chair CFEL Managing Board (2008). Leibniz-Preis (1999), Philip-Morris-Forschungspreis (2006).

Christoph H. Keitel

(geb. 1965)

leitet seit 2004 die Abteilung

Theoretische Quantendynamik in starken Laserfeldern



Studium der Physik, Promotion Univ. München (1992), Habilitation Univ. Freiburg (2000), University of New Mexico, Albuquerque/USA (1989-1992), Imperial College, London (1992-1997), Marie Curie Fellow (1997-1998), Universität Freiburg (1998-2003), Universität Düsseldorf (2003-2004). Gustav-Hertz-Preis der DPG (2003).

Manfred Lindner

(geb. 1957)

leitet seit 2006 die Abteilung

Teilchen- und Astroteilchenphysik



Studium der Physik, Promotion LMU München (1987), Postdoc am Fermi National Accelerator Lab., Chicago (1987), CERN Fellow, Genf (1989), Habilitation im Fach Physik an der Universität Heidelberg (1992), Professor TU München (1993), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (seit 2006). Heisenberg-Stipendiat (1991).



Klaus Blaum

(geb. 1971)

leitet seit 2008 die Abteilung

Gespeicherte und gekühlte Ionen

Studium der Physik, Promotion (2000), Habilitation Univ. Mainz (2006), Pacific Northwest National Laboratory, USA (1999-2000), CERN (2000-2004), GSI (2000-2002), Helmholtz-Hochschul-Gruppe (2004-2008), Honorarprofessor Univ. Heidelberg (seit 2008). Gustav-Hertz-Preis der DPG (2004), Mattauch-Herzog-Preis der DGMS (2005).

Daniel Zajfman

(geb. 1959)

(auswärtiges wissenschaftliches Mitglied)
leitete von 2005 bis 2006 kommissarisch
die Abteilung von Dirk Schwalm



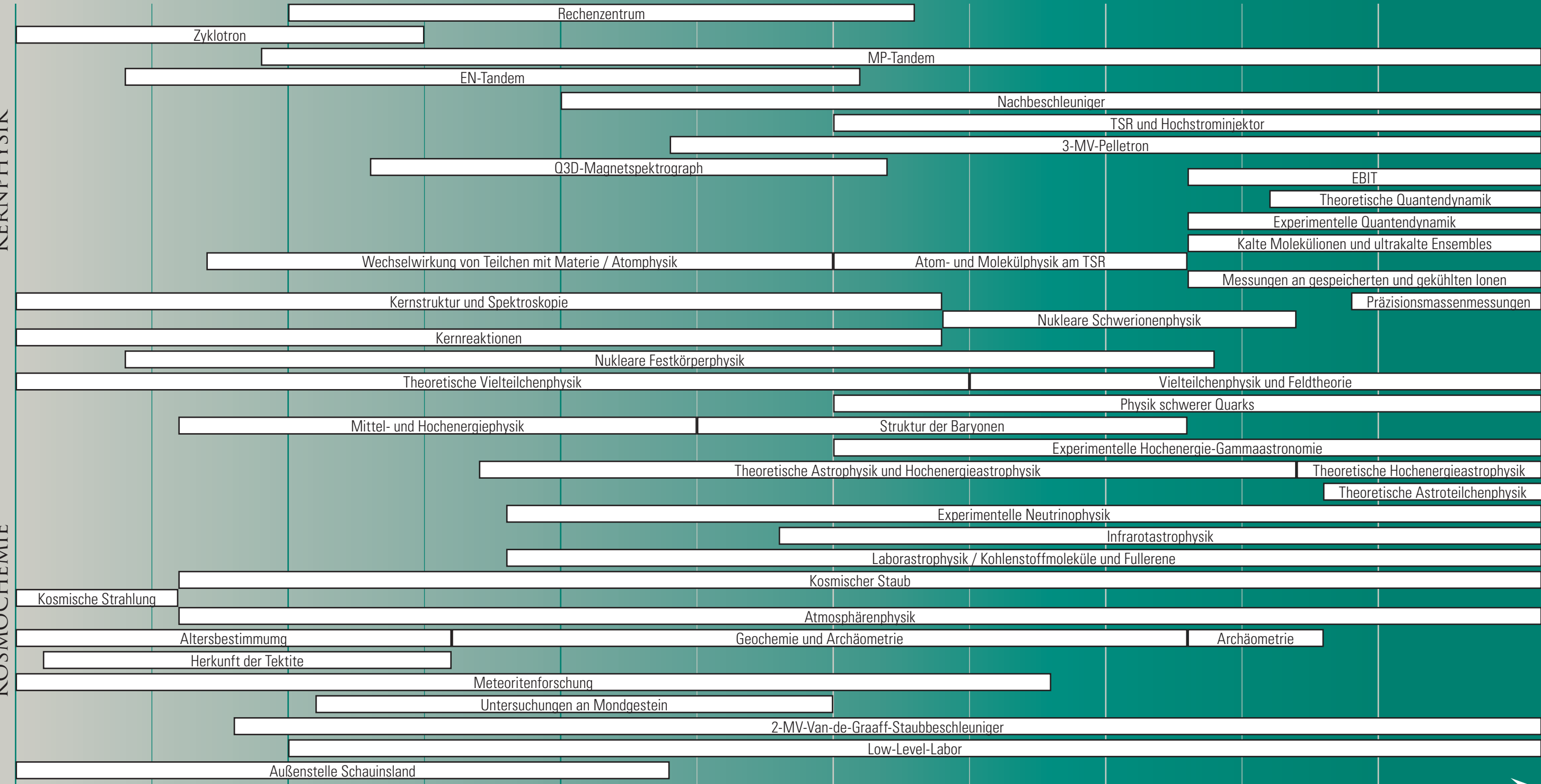
Studium der Physik, Promotion Israel Institute of Technology, Haifa (1989), Postdoc Argonne National Laboratory, Illinois, USA (1989-1991), seit 1991 Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel, seit 2006 dessen Präsident.

KERNPHYSIK

QUANTENDYNAMIK

KOSMOCHEMIE

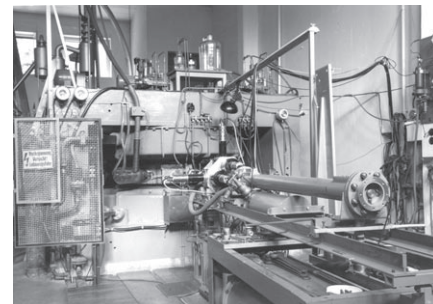
ASTROTEILCHENPHYSIK



Beschleunigeranlagen

Das Heidelberger Zyklotron

Das 1943 von W. Bothe am KWI für medizinische Forschung aufgebaute erste deutsche Zyklotron erfuhr 1955/56 unter U. Schmidt-Rohr einen Umbau und diente bis 1973 vor allem Untersuchungen der Kernstruktur, von Kernreaktionen mit leichten Ionen und der Erzeugung von Isotopen.



Heidelberger Zyklotron (1943/56–1973):
Gewicht Magnet: 80 t, Magnetfeld:
1,7 T, 1-Dee-System für 12,9 MHz, max.
Energie für Deuteronen: 11,8 MeV.

zunächst dorthin beschleunigt, durch Abstreifen von Elektronen in einem Folien- oder Gastarget umgeladen und dann entsprechend ihrem Ladungszustand nochmals beschleunigt werden. Die mit einem Bandgenerator erzeugte maximale Spannung betrug 6 MV. Zum Schutz vor Überschlägen befand sich die Anlage in einem Drucktank (Durchmesser 4 m, Länge 11 m) unter 12 bar N_2/CO_2 .

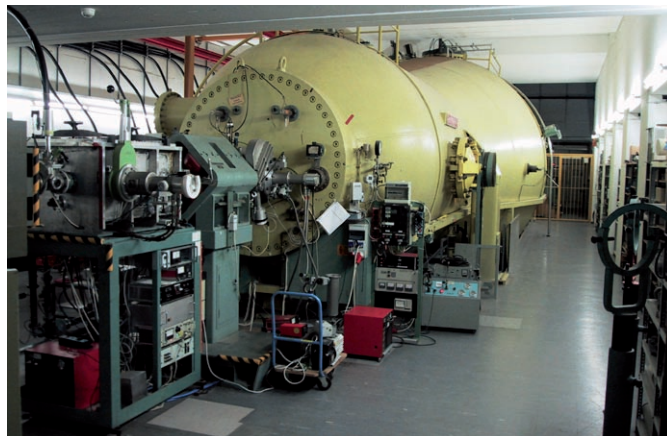
Der EN-Tandem diente vor allem der Untersuchung von Kernreaktionen sowie der Kernspektroskopie und der Atomphysik. Er gilt als Wiege der Schwerionenphysik. Einige der für den EN-Tandem entwickelten Komponenten werden heute noch in anderen Beschleunigern weiter betrieben.

Der MP-Tandem-Van-de-Graaff-Beschleuniger

Seit 1967 ist der „Emperor“-Tandem mit mehr als 262 000 Betriebsstunden im täglichen Einsatz. Mit der Serien-Nr. 5 des Herstellers „High Voltage Engineering“ war er der erste dieses Typs in Europa. Er wurde seither kontinuierlich an den neuesten Stand der Technik angepasst und verfügt über ein voll digitales Regel- und Steuersystem. Gepulste Strahlen von ms bis ps Pulsdauer können bereitgestellt werden. Nach anfänglichem Schwerpunkt in der Untersuchung von Kernstruktur und Kernreaktionen gab es eine längere Phase mit Schwer-

Der EN-Tandem-Van-de-Graaff-Beschleuniger

Der erste Beschleuniger dieser Art in Europa war am MPIK von 1962 bis 1989 in Betrieb. Das Tandem-Prinzip nutzt die Hochspannung am zentralen Terminal mehrfach aus, indem negative Ionen



MP-Tandem, technische Daten: 6 Pelletron-Ketten, maximale Spannung 12 (14) MV; Drucktank: Durchmesser 5,5 m, Länge 24 m, Gewicht 128 t, Schutzgas: 5 bar SF_6 .

ionen-Experimenten, welche die besonders energiereichen und hochgeladenen Ionen am Tandem ausnutzten. Nach dem Aufbau des Speicherrings TSR verlagerten sich das Interesse auf die Atom- und Molekülphysik. Die ständige Weiterentwicklung der Ionenquellen des Tandems konnte hierfür das Strahlen-Angebot molekularer Ionen erheblich vergrößern.

Das 3-MV-Pelletron

Der heutige Pelletron-Beschleuniger wurde 1974 als Protoneninjektor für den HERA-Beschleuniger (DESY, Hamburg) gebaut. Seit 1982 am MPIK erfuhr er einen Umbau zu einem negativen 3-MV-Schwerioneninjektor für den MP-Nachbeschleuniger. Mit der Stilllegung des EN-Tandems 1989 wurde für die μ -PIXE-Anlage (siehe S. 18) ein Beschleuniger für stabile 3-MV-Protonenstrahlen gebraucht. Hierzu wurde das Pelletron erneut in einen positiven Protonenbeschleuniger umgebaut. Seit Abschluss der PIXE-Experimente wird das Pelletron hauptsächlich zur Injektion komplexer Molekülonen in den Speicherring TSR verwendet (erneuter Umbau 2007). Der Tank (Füllung 5 bar SF_6 , Durchmesser 2,5 m, Länge : 5,8 m) verfügt über einen Schnellverschluss.

Der Heidelberger Nachbeschleuniger

Das zunehmende Interesse an Kernreaktionen mit Schwerionen erforderte immer höhere Teilchenenergien, weshalb schon ab ca. 1972 über den Aufbau eines Nachbeschleunigers nachgedacht wurde. Aufgrund der zu erwartenden hohen

Investitionen setzte man ab 1974 auf die eigene Entwicklung einer neuen, kompakten Beschleunigerstruktur (Spiralresonator, siehe Titelbild), die eine Herstellung und Bearbeitung in den Institutswerkstätten erlaubte. Auch erwies sich der Umbau-Aufwand am MP-Tandem als gering.

Nach einem Vergleichstest zugunsten warmer Spiralresonatoren gegenüber supraleitenden Strukturen erfolgte die Bewilligung einer 3-MV-Teststrecke mit 10 Spiralresonatoren, die Anfang 1978 in Betrieb ging. Als HF-Quellen dienten umgebaute UKW-Rundfunksender. Ein Novum war damals das digitale Kontrollsystem. Bereits 1979 konnte der Nachbeschleuniger um 20 Resonatoren erweitert werden und erreichte 1980 seine endgültige Größe mit 40 Resonatoren. Für die Ausbaustufen konnten speziell für diesen Zweck entwickelte HF-Generatoren eingesetzt werden.

Die Nachbeschleuniger-Strahlen dienten anfangs vor allem den kernphysikalischen Experimentierplätzen (z.B. Kristallkugelspektrometer). Wenn auch heute der Bedarf an hochenergetischen Schwerionenstrahlen in Heidelberg stark zurückgegangen sind, bewährt sich das Konzept des Beschleunigers noch immer für die Versorgung des TSR-Speicherrings in besonderer Weise.



Heidelberger Nachbeschleuniger: 40 Spiralresonatoren für 108,48 MHz, 12/24 MV effektiv durchfallene Spannung (CW/Puls)

Weitere Beschleuniger

- Hochstrominjektor für den TSR (siehe Seite 12)
- Staubbeschleuniger (siehe Seite 28)

Ionenquellen und EBIT

Ionenquellen der Beschleunigeranlage

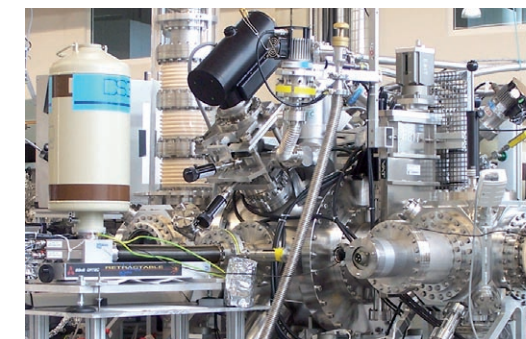
Im Hinblick auf die vielfältigen Anwendungen wurden am MPIK beschleunigertechnisch bedeutsame Ionenquellen entwickelt und ein flexibles System solcher aufgebaut. Hierzu zählen für leichte Ionen Duoplasmatrons und für schwere Ionen negative Penning-Quellen und Sputterquellen. Die im Pelletron installierte Penning-Quelle liefert ein weites Spektrum komplexer Molekülonen, die über den MP-Tandem und Nachbeschleuniger in den Speicherring TSR transportiert werden können.

Quellen für polarisierte Ionen

1972 bauten D. Fick und E. Steffens am EN-Tandem eine Quelle für polarisierte 6Li -Ionen (ab 1976 auch 7Li und ${}^{23}Na$) – weltweit der erste Ionenstrahl dieser Art. 1983 folgte eine neue, optisch gepumpte Quelle für 7Li und ${}^{23}Na$, die bis 1989 betrieben wurde und in Kombination mit MP-Tandem, Nachbeschleuniger und Kristallkugelspektrometer einzigartig war.

Hochgeladene Ionen: EBIT

Ab 2001 wurde von J. Crespo und J. Ullrich die Freiburger Elektronenstrahl-Ionenfalle (Electron Beam Ion Trap, EBIT) am MPIK neu aufgebaut. Der Schwerpunkt der Anlage liegt in der Erzeugung und Spektroskopie hochgeladener Schwerionen, wie sie z.B. in Sternatmosphären aber auch in technisch relevanten Plasmen (Fusionsforschung) vorkommen. Mittels eines extrem komprimierten, energetischen Elektronenstrahls können praktisch Ionen jedes Elements in beliebigen Ladungszuständen präpariert werden. Sie stehen in der Falle für Präzisionsmessungen oder extrahiert als Ionenstrahl für Stoßexperimente zur Verfügung.



Der transportable EBIT-Aufbau am Freie-Elektronen-Laser FLASH in Hamburg.

Schwerionenspeicherring TSR und ultrakalter Speicherring CSR

Der Schwerionenspeicherring TSR

Im Zuge einer Neuformulierung der kernphysikalischen Ziele des Instituts wurde 1984 ein Speicherring für gekühlte Schwerionen für das Beschleunigerlabor konzipiert. Hierzu fand gemeinsam mit der GSI Darmstadt und der Universität Heidelberg ein internationaler Workshop statt. Im Hinblick auf den später an der GSI realisierten Experimentier-Speicherring ESR bekam die Heidelberger Anlage den Namen „Test-Speicherring“ (TSR). Nach zweijähriger Bauzeit konnten Ende 1987 in der erweiterten Beschleunigerhalle die ersten Ionen in den TSR injiziert werden und im November 1988 gelang weltweit erstmals die Kühlung eines gespeicherten Schwerionenstrahls.

Zur Kühlung wird der Ionenstrahl mit einem kalten Elektronenstrahl überlagert und wie in einem Wärmetauscher die Wärme an das ständig erneuerte Elektronenbad abgeführt. Die niedrigsten Temperaturen liegen bei 100 K. Der Speicherring hat einen Umfang von 55,4 m und vier gerade Sektionen für die Injektion, den Elektronenkühler und zwei Experimentierplätze. Im Ring kann eine Vielzahl von atomaren und molekularen Ionen in verschiedenen Ladungszuständen mit bis zu 6% der Lichtgeschwindigkeit gespeichert werden. Dank des guten Vakuums im Bereich von 10^{-11} mbar sind je nach Ionenart Speicherzeiten von Sekunden bis Stunden erreichbar.

Für noch niedrigere Strahltemperaturen im mK-Bereich wurde am TSR erstmals Laserkühlung von relativistischen Lithium-Ionen realisiert. Hieraus entwickelte sich ein Experiment

zum Test der speziellen Relativitätstheorie, welches 2007 Einsteins Vorhersagen mit der bisher besten Genauigkeit von 8×10^{-8} bestätigen konnte.

Der TSR erlaubt eine sehr präzise Spektroskopie von Ionen über resonante Einfangreaktionen und bietet die Möglichkeit, Molekülonen quasi unter Weltraumbedingungen zu untersuchen (siehe S. 20). Um die Wechselwirkung mit Elektronen unabhängig vom Kühlbetrieb mit verbesserter Auflösung zu studieren, wurde 2003 ein separates Elektronentarget mit einer Temperatur von 5 K installiert. Derzeit ist am Ring ein Reaktionsmikroskop im Aufbau, welches 2009 in Betrieb gehen soll.

Der Hochstrominjektor

Über den Tandembeschleuniger hinaus bietet der Hochstrominjektor seit 1998 den Zugang zu Spezialionenquellen (etwa Kryo- und Laserquellen für Moleküle) sowie wesentlich höhere Strahlintensitäten.

Herzstück seiner am Institut entwickelten Technologie ist ein Doppelkammer-Radiofrequenz-Quadrupolbeschleuniger (RFQ). Auf der Basis des Hochstrominjektors hat das Institut den REX-ISOLDE-Beschleuniger bei CERN von 1995–2001 entscheidend mit aufgebaut.

Der elektrostatische kryogene Speicherring CSR

Der im Aufbau befindliche elektrostatische, kryogene Speicherring CSR wird den Weg zur Speicherung von Ionenstrahlen bei extrem geringen Dichten der Wärmestrahlung und des Restgases ebnet. Die am TSR erfolgreichen Methoden werden damit für rotationskalte Molekülonen, große organische Moleküle und Cluster, sowie Schwerionen in den höchsten Ladungszuständen bei besonders geringen Strahlgeschwindigkeiten weiterentwickelt und so einzigartige Präzisionsexperimente zur Quantendynamik dieser Systeme ermöglichen.



RFQ-Beschleunigerstruktur des Hochstrominjektors.

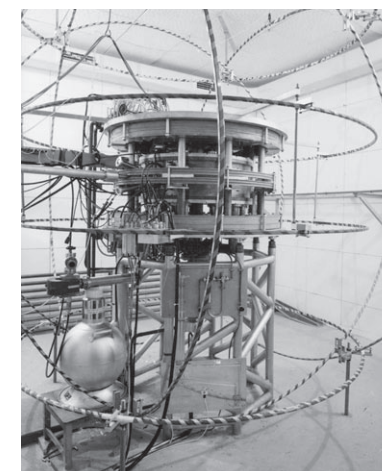


Der Schwerionenspeicherring TSR.

Spektrometer

Das $(\pi/2)\sqrt{13}$ -Betaspektrometer

1968 wurde dieses Spektrometer in einem separaten eisenfreien Messhaus in Betrieb genommen. Der Name bezieht sich auf den Fokussierungswinkel von $324,5^\circ$. Es vereinigte eine große Akzeptanz (1%) mit hoher Energieauflösung (5×10^{-4}) und wurde viele Jahre für Präzisionspektroskopie von Konversionselektronen genutzt.



$(\pi/2)\sqrt{13}$ -Spektrometer: Die großen dünnen Spulen kompensieren das Erdmagnetfeld.

Der Vielspalt-Magnetspektrograph

Der 1969 aufgebaute Analysiermagnet bestand aus einem Torus mit 29 Spalten von je 1,6 cm Breite. Bei einer Feldstärke von 1,6 T wurden Protonen bis 93 MeV mit einer Auflösung von 1% zeitgleich unter 29 Winkeln nachgewiesen. Zur Aufnahme dienten einzelne Kernphotoplatten, die in einem eigenen Labor ausgewertet wurden. Der Vakuumentank hatte ein Gewicht von 80 t bei einem Durchmesser von 4,9 m.

Der Q3D-Magnetspektrograph

Die Planungen für einen hochauflösenden Spektrographen aus einem Quadrupol (Q) und drei Dipolmagneten (D) begannen 1969. Bei einer Energieauflösung von 2×10^{-4} wurde ein Energiebereich von $\pm 10\%$ abgedeckt. Eine Besonderheit stellte das Luftlager auf einer polierten Granitplatte von 8,8 m Durchmesser dar, welches eine leichte Drehbarkeit des 140 t schweren Gerätes um seine Achse erlaubte (siehe Titelbild). Diese Entwicklung des Instituts wurde zum Prototyp der später weltweit meistverwendeten Magnetspektrographen.

Edelgas-Massenspektrometer und -Ionensonden

Zum Nachweis von Edelgasisotopen kamen seit 1958 in der Kosmochemie Massenspektrometer zum Einsatz. Die festen Proben wurden entweder thermisch aufgeschlossen und danach die gereinigten Gase durch Elektronenstoß ionisiert oder mittels eines Ionenstrahls orts- und tiefenaufgelöst unter-

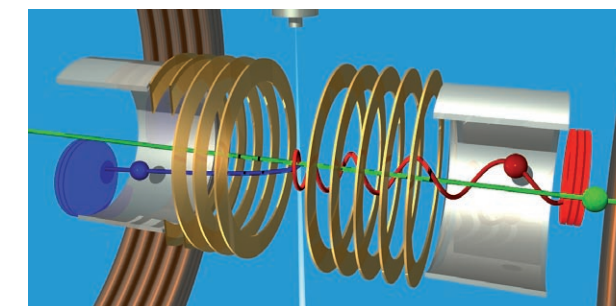
sucht. Letztere Methode war eine Eigenentwicklung, deren Grundidee auf die durch J. Zähringer bekannt gewordene Helium-Mikrosonde zurückgeht. Die Technik der Massenspektrometrie wurde am Institut ständig weiter entwickelt sowie kompakte und robuste Geräte für den Einsatz auf Satelliten, Raketen, Ballons und Flugzeugen gebaut.

Das Kristallkugelspektrometer

Zur Untersuchung seltener γ -Zerfälle (z. B. von Spaltisotopen) wurde in einem gemeinsamen Projekt des MPIK mit der GSI Darmstadt ein Kristallkugelspektrometer aufgebaut und 1982 – als weltweit erster großer 4π -Detektor – in Betrieb genommen. Es bestand aus einer Hohlkugel mit 162 fünf- und sechseckigen NaI-Zählern, welche den vollen Raumwinkel abdeckten (siehe Titelbild). Für Experimente, die hohe Auflösung erforderten, konnten einzelne NaI-Zähler durch Ge-Halbleiterzähler ersetzt werden.

Reaktionsmikroskope

Mit der Berufung von J. Ullrich an das MPIK hielt ab 2001 eine neue Art der Spektroskopie Einzug, die 1994, basierend auf Rückstoßimpulsspektroskopie kalter Ionen (COLTRIMS), von R. Moshhammer und J. Ullrich (U Frankfurt und GSI Darmstadt) entwickelt worden war. Diese „Reaktionsmikroskope“ erlauben die impuls aufgelöste Vermessung der Fragmente atomarer Reaktionen und liefern einen detaillierten Einblick in die Dynamik von Quantensystemen. In den letzten Jahren wurden Reaktionsmikroskope für vielfältigen Einsatz in Experimenten zur Wechselwirkung von Materie mit geladenen Teilchen und Laserfeldern vom Infrarot- bis in den Röntgenbereich optimiert.

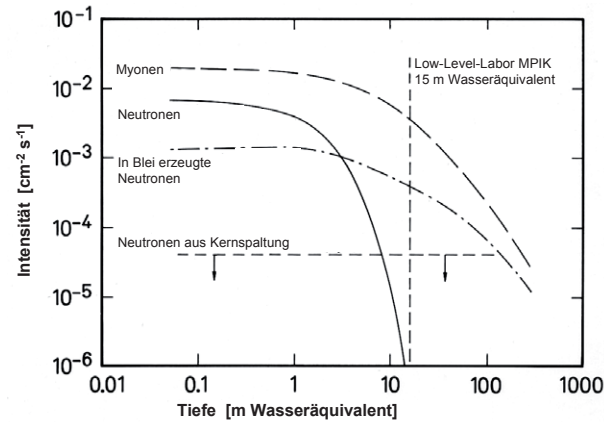


Prinzip eines Reaktionsmikroskops: Die geladenen Fragmente werden mit elektrischen und magnetischen Feldern auf großflächige Detektoren abgebildet.

Low-Level-Labor

Von J. Zähringer wurde bereits bei der Gründung des MPIK noch in den alten Räumen am MPI für medizinische Forschung ein erstes Low-Level-Labor eingerichtet.

Zusammen mit dem „Kosmochemiegebäude“ – dem heutigen Wolfgang-Gentner-Laboratorium – wurde 1968 auch ein Messbunker für die Low-Level-Zählapparaturen gebaut. Er liegt zur Abschirmung der kosmischen Strahlung bergseits 10 m unter der Erde. Zum Bau wurden Materialien ausgesucht, die arm an natürlicher Radioaktivität sind. Der Neutronenfluss der kosmischen Strahlung wird so praktisch eliminiert, während der Myonenfluss nur um etwa einen Faktor 3 reduziert wird. Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden kontrolliert, wobei größtmögliche Frischluftzufuhr dazu dient, die ^{222}Rn -Konzentration niedrig zu halten. Zusätzlich werden die Detektoren durch kontaminationsarme Metalle abgeschirmt und die Messgeräte mit „sauberem“ Strom von einem Generator versorgt. Mit diesen Maßnahmen sowie dem Setzen von Koinzidenz- und Antikoinzidenzbedingungen wird die Hintergrundzählrate stark reduziert.



Fluss von kosmischer Strahlung und Neutronen aus natürlicher Aktivität in Abhängigkeit von der Tiefe.

Im viele Jahre von G. Heusser geleiteten Low-Level-Labor werden Detektoren – vorwiegend Germaniumdetektoren und Proportionalzähler – für extrem niedrige Zählraten entwickelt und getestet. Diese werden bei der Erforschung solarer Neutrinos mit den GALLEX/GNO-, Borexino- und LENS-Experimenten, des doppelten Betazerfalls mit den Heidelberg-Moskau- und GERDA-Experimenten und bei der Suche nach dunkler Materie (HDMS-Experiment) eingesetzt.

Feinwerktechnik und Konstruktion

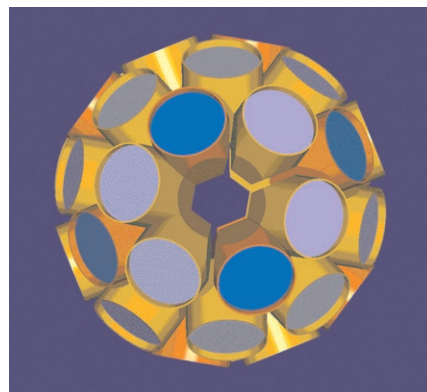
Als einer der ersten Neubauten des neuen Instituts wurde nach dem Beschleunigerbau das zentrale Gebäude für die mechanischen und elektronischen Werkstätten fertig gestellt. Ergänzend zur Hauptwerkstatt erhielten die Tandem-Beschleuniger und die Kosmochemie eigene Werkstätten. Wesentlich für den Betrieb der Beschleuniger war ein eigenes Targetlabor; noch heute werden die Folien für den Tandem-Umlader am Institut hergestellt.

Anfang der 1980er-Jahre wurden die ersten numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen zur Fertigung komplizierter Bauteile angeschafft. Zu den großen Projekten des Instituts (Nachbeschleuniger, TSR, Hochstrominjektor, H.E.S.S.) haben Feinwerktechnik und Konstruktion durch Eigenentwicklung und -bau – z. T. in Zusammenarbeit mit den Elektronik-Gruppen – erheblich beigetragen.

2001 wurde die bis dahin unabhängige Feinmechanik-Werkstatt des Gentner-Labors (Kosmophysik) mit der zentralen Feinwerktechnik fusioniert. Bis heute bestehen die eigenständigen Werkstätten im Beschleuniger-Gebäude; die ehemalige Werkstatt des EN-Tandems ist heute vorwiegend für das H.E.S.S.-Projekt tätig.

Mit dem Bezug des Werkstattgebäudes Ende 1963 wurde auch eine eigenständige Ausbildungswerkstatt für Feinwerkmechanik eingerichtet, in der heute jährlich drei Ausbildungsplätze zur Verfügung stehen.

Bis zur Einführung der ersten Rechner zur Geometrieberechnung Mitte der 1980er-Jahre arbeitete das Konstruktionsbüro noch „konventionell“ am Zeichenbrett. Ab Anfang der 1990er-Jahre standen dann 3D-CAD-Programme zur Verfügung, für die zunächst externe Großrechner genutzt wurden. Seit 1996 laufen die Programme auf eigenen Workstations. Nach Auflösung des Fotolabors wurde der neue Zweig Medientechnik in die Konstruktionsabteilung integriert.

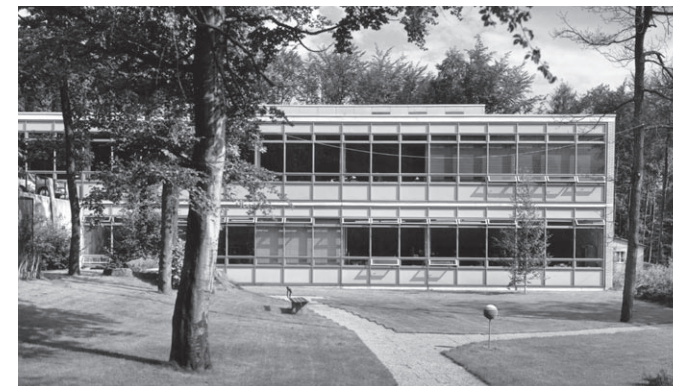


3D-Designstudie „Cluster Sphere“.

Elektronik-Labor

Die 1959 eingerichtete Elektronikwerkstatt des MPIK untergliederte sich an ihrem neuen Standort schon bald im Hinblick auf spezielle Aufgaben, so z. B. für Raketenelektronik. Seit Ende der 1960er-Jahre bildeten sich im Zuge dieser Spezialisierung mehrere eigenständige Gruppen heraus: Service und allgemeine Entwicklung, Kernphysik-Elektronik, Elektronik für Weltraumforschung, Elektronik für Online-Rechner und Datenerfassung. Daneben bestand zeitweise eine eigene Elektronik-Gruppe für den Nachbeschleuniger.

Einen wichtigen Schwerpunkt bildete die Entwicklung spezieller Messelektronik, die nicht kommerziell erhältlich war. Das Institut wurde so führend auf dem Gebiet guter Nachweiselektronik. Weitere projektspezifische Aufgaben waren Entwicklung und Bau von Steuergeräten, Reinraumtechnik für die Kosmochemie sowie Elektronik für Raumsonden (z. B. Helios-Projekt). 1984 wurde die rechnergestützte Leiterplattenherstellung eingeführt.



Die Nordseite des Werkstattgebäudes 1966.

Die verschiedenen Gruppen wurden im Jahr 2000 zum Bereich „Zentrale Elektronik – Entwicklung und Service“ zusammengefasst, welcher dann Ende 2001 im umgebauten Rechenmaschinengebäude ein neues Domizil fand. Die Prozessrechnergruppe ging dabei in der heutigen Netzwerkgruppe auf.

Seit seinen Anfängen betreibt das Elektronik-Labor eine eigene Ausbildung, die heute von einer eigenständigen Ausbildungswerkstatt wahrgenommen wird. Wie auch im Falle der Feinwerktechnik war ein Grund für diese Einrichtung die Notwendigkeit, für die speziellen Anforderungen eigene Nachwuchskräfte auszubilden.

Rechenzentrum

Der 1964 beschaffte GIER-Rechner erwies sich für das wachsende Forschungsprogramm schon bald als nicht ausreichend, so dass 1966 eine CDC 3300 installiert wurde. 1967/68 konnte mit Sondermitteln des Bundes ein eigenes Rechenmaschinengebäude errichtet werden. Zur Online-Datenaufnahme dienten ab Anfang der 1970er-Jahre SIGMA-Systeme, später dann PDP-11-Rechner. Der gestiegene Bedarf an Rechenleistung u. a. durch die theoretische Astrophysik führte 1978 zur Ablösung der CDC 3300 durch eine DEC-1090-Anlage. Diese erlitt 1982 durch einen Brand schwere Schäden, konnte aber noch im gleichen Jahr durch ein DEC-2030-System ersetzt werden.

Anfang der 1980er-Jahre zogen zwei erste VAX-11/780-Rechner in den Keller des Bothe-Labors ein. 1986 folgte eine VAX 8650, welche die DEC 2030 im Rechenzentrum ablöste und über Ethernet mit Micro-VAXen zu einem Cluster vernetzt wurde. Mit dem Verkauf der VAX 8650 verlor 1991 das Rechenzentrum seine Funktion und es vollzog sich die Umstellung auf ein dezentrales Netzwerk mit 60 VAX-Rechnern, die später durch Alpha-Cluster ersetzt wurden. Parallel ging die Datenverarbeitung auf eine Netzwerkgruppe über. 1993 erfolgte der Ausbau der internen und externen Datenleitungen und es zeichnete sich der Beginn des „PC-Zeitalters“ ab.

Die jüngste Ära der Rechenmaschinen am MPIK begann 2002 mit dem Aufbau einer PC-gestützten Linux-Farm (28 duale Prozessoren), gefolgt 2004 (im Zuge der Berufung von C. H. Keitel) von der Einrichtung eines neuen klimatisierten Rechenraums im Keller des Bothe-Labors für einen Linux-Cluster mit über 400 Prozessoren und über 100 TByte Speicherplatz. 2006 wurde die Anlage nochmals auf über 750 Prozessoren und 280 TByte Speicherplatz erweitert.

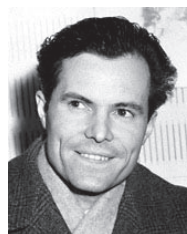


Das Rechenzentrum um 1980 mit der DEC-1090-Anlage.

Kernspektroskopie

Entdeckung des Mößbauer-Effekts

In die Gründungsphase des MPIK fiel die Entdeckung der rückstoßfreien Kernresonanzabsorption durch R. Mößbauer am Institut für Physik des MPI für medizinische Forschung im Jahr 1957. Mößbauer fand, dass überraschenderweise die Wahrscheinlichkeit für resonante Absorption von Gammastrahlung in Festkörpern bei niedrigen Temperaturen stark ansteigt. Grund hierfür ist, dass der Festkörper als ganzes den Rückstoß aufnimmt, was zu einer vernachlässigbar kleinen Energieverbreiterung der Gammastrahlung führt. Der Mößbauer-Effekt eröffnete eine neue, wesentlich präzisere Spektroskopie von Gammastrahlung mit vielfältigen Anwendungen für Präzisionsexperimente und in der nuklearen Festkörperphysik, u. a. zum Test der allgemeinen Relativitätstheorie. Die Mößbauer-Spektroskopie entwickelte sich zu einem unersetzlichen Instrument in der chemischen Analyse. Für seine Entdeckung erhielt R. Mößbauer 1961 den Nobelpreis für Physik.



Rudolf Mößbauer

Untersuchungen zum Betazerfall

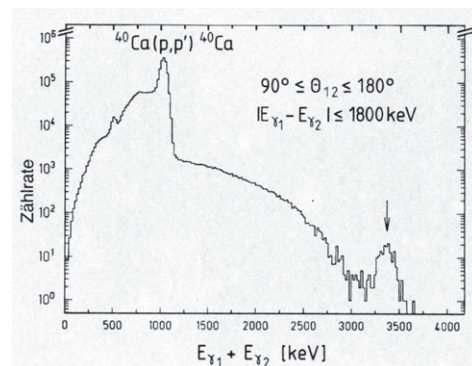
Zu den frühen bedeutenden Experimenten gehörten die Untersuchungen zum Betazerfall von ^8Li , das am Heidelberger Zyklotron erzeugt wurde. Aus der gemessenen Winkelverteilung der Alphateilchen beim Zerfall des Tochterkerns ^8Be relativ zur Richtung des Elektrons wurde von K. H. Lauterjung, B. Schimmer, U. Schmidt-Rohr und H. Maier-Leibnitz die Kopplungsart des Betazerfalls abgeleitet. Indirekt führte dieses Resultat zur Bestimmung der Antineutrino-Helizität. Das erzielte Ergebnis (Rechtsschraubigkeit des Antineutrinos) hat noch heute Bestand.

Die Kernspektroskopie-Gruppe um H. Daniel konzentrierte sich Anfang der 1960er-Jahre auf die Analyse der β - γ -Zirkularpolarisations-Korrelation und den Aufbau des neuen $(\pi/2)\sqrt{13}$ -Spektrometers. Ziel war u. a. die Bestimmung der so genannten Fermi-Beiträge zum Betazerfall durch genaue Vermessung der Form der Spektren wie auch der β - γ -Zirkularpolarisation. Wichtigster Beitrag war die Untersuchung von ^{144}Ce : Spektralform, β - γ -Richtungskorrelation und -Zirkularpolarisation ergaben eine Obergrenze für die pseudoskalare Beimischung zum Betazerfall, die lange Zeit Gültigkeit besaß und in die Lehrbücher einging.

Das hohe Auflösungsvermögen des $(\pi/2)\sqrt{13}$ -Spektrometers ermöglichte die präzise Vermessung von Betaspektren. Aus der Messung der Beta-Endpunktenergie von Tritium konnte 1972 für die Masse des Elektronen-neutrinos eine Obergrenze von 86 eV abgeleitet werden. Im Grenzbereich von Atom- und Kernphysik bewegte sich das Studium der inneren Konversion (direkte Übertragung der Energie bei einem Kernübergang auf die Elektronenhülle). Dank der hohen Messgenauigkeit konnte innere Konversion nicht nur an den inneren, sondern auch an den äußeren Schalen studiert werden, wobei sogar der Einfluss der chemischen Bindung beobachtbar wurde. Unter Einbeziehung von Mößbauerdaten ließ sich außerdem die Änderung der Kernladungsradien bei Kernanregung bestimmen.

Gammaskpektroskopie

Mit dem Kristallkugelspektrometer stand seit 1982 das international leistungsfähigste Gerät zum Nachweis von Gammastrahlung nach Kernreaktionen zur Verfügung. Neben der Gesamtenergie konnten die Zahl, Einzelenergie und Winkelverteilung aller γ -Quanten gleichzeitig bestimmt werden. Neben dem Studium der γ -Emission aus angeregten Zuständen stark deformierter Kerne ermöglichte der große Raumwinkel insbesondere die Untersuchung seltener Zerfälle. So konnte 1984 von D. Schwalm und D. Habs erstmals der doppelte Gammazerfall eines Atomkerns nach Anregung von ^{40}Ca durch Protonenbeschuss beobachtet werden, da es gelang, den 2-Quanten-Untergrund aus dem konkurrierenden Prozess der Positron-Zerstrahlung aus der inneren Paarbildung abzutrennen.



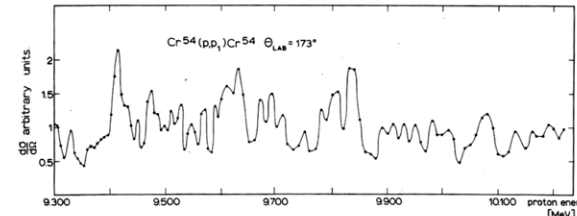
Summenspektrum für den doppelten Gammazerfall von ^{40}Ca (Pfeil) nach Anregung durch unelastische Protonenstreuung.

Kernreaktionen

Reaktionen mit leichten Ionen

Die Gründung des MPIK 1958 ermöglichte den Ausbau des Zyklotron-Labors (u. a. die Einführung moderner Elektronik). Einen Schwerpunkt bildeten Experimente mit Deuteronen: elastische Streuung leistete wichtige Beiträge zum optischen Modell und zur Form des Kernpotentials; Reaktionen vom Typ (d,t) und (d, ^3He) standen am Anfang der Aufklärung der inneren Schalenstruktur der Kerne, welche später u. a. am Isochronzyklotron in Karlsruhe fortgesetzt wurden.

Die Untersuchung von Strukturen in Anregungsfunktionen (Ericson-Fluktuationen und Analogzustände) prägte das experimentelle Programm der Gruppe von T. Mayer-Kuckuk / T. v. Brentano am neuen EN-Tandem ab 1962. Es konnte u. a. gezeigt werden, dass der Begriff des Isospins auch bei schweren Kernen und hohen Anregungsenergien seine Bedeutung behielt. Als wichtige apparative Erweiterungen folgten der MP-Tandem, der Vielspaltmagnetspektrograph und der Q3D-Magnetspektrograph (siehe S. 10, 13) Letztere boten die beste Energieauflösung für die Reaktionsprodukte bei gleichzeitig optimaler Zählrate.



Ericson-Fluktuationen für Protonenstreuung an ^{54}Cr .

Schwerionen-Reaktionen

Durch den Einsatz der Tandem-Beschleuniger konnte die Untersuchung von Kernreaktionen auch auf schwerere Projektile ausgedehnt werden. Der Schwerpunkt lag dabei auf dem Massenbereich zwischen ^6Li und ^{32}S . Die Fragestellungen reichten von Anregungszuständen der Kerne (Deformation, Einteilchenanregung, Rotation oder Schwingung der Nukleonen) bis zum Mechanismus von Kernreaktionen und dem Versuch, schwere Kerne mit statistischen Modellen zu beschreiben.

Untersuchung von deformierten Kernen

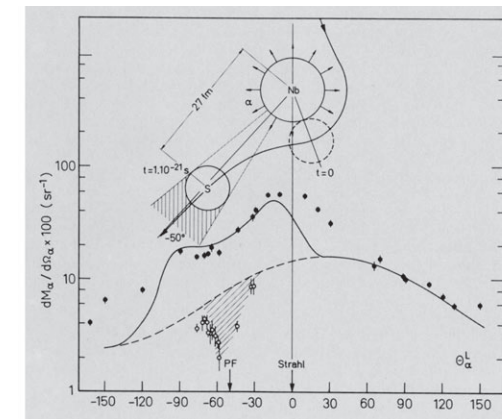
Besonders große Kerndeformationen treten vor der Kernspaltung auf, wobei in bestimmten Fällen metastabile Zustände (so genannte Spaltisomere) in einem zweiten Minimum der

Potentialfläche auftreten. Diese wurden in einem langjährigen Forschungsprogramm am MPIK untersucht. Für ihre Methode, die Lebensdauer von Spaltisomeren mittels eines Ladungsseparators zu vermessen, erhielten D. Habs und V. Metag 1978 den Physikpreis der DPG.

Als weiteres Hilfsmittel zum Studium extrem deformierter Kerne diente die Gammaskpektroskopie. In einem Schwerionenstoß in schnelle Rotation versetzte Kerne strahlen ihre Rotationsenergie in Kaskaden von γ -Quanten ab. Weitere Untersuchungen befassten sich mit Dipolresonanzen, bei denen Protonen und Neutronen in einem Kern gegeneinander schwingen.

Mechanismus von Kernreaktionen

Schwerpunkt der Untersuchung von Reaktionsmechanismen in Schwerionenstößen waren Fusionsreaktionen und tiefinelastische Prozesse. Bei letzteren bilden die Kerne kurzzeitig ein zusammenhängendes System, das nach Austausch von Energie, Drehimpuls und Nukleonen wenig verändert wieder auseinanderläuft. Die Herausforderung bestand im Nachweis einer größeren Zahl an Reaktionsprodukten, da durch die hohe Anregungsenergie der Kerne viele Nukleonen abgedampft werden. Die Spektroskopie dieser Teilchen erlaubte Rückschlüsse auf den zeitlichen Ablauf der Reaktion und die Frage, ob sie vom Projektil oder Target stammen.



Winkelverteilung von α -Teilchen, die beim Stoß von Schwefel mit Niobkernen (obige Skizze) emittiert werden (volle Punkte). Die α -Teilchen aus dem Nb-Kern (offene Punkte) werden durch den auslaufenden Schwefelkern abgeschattet, woraus der Zeitpunkt der α -Emission bestimmt werden kann.

Nukleare Festkörperphysik

Halbleiteruntersuchungen

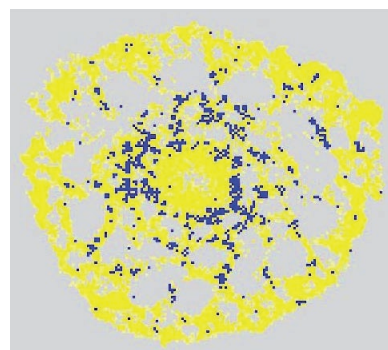
Ausgehend von der Herstellung von Halbleiterzählern arbeitete das Institut seit seiner Gründung an festkörperphysikalischen Untersuchungen, welche bis 1998 einen festen Bestandteil des Forschungsprogramms bildeten. Schon in den 1960er-Jahren wurde mit den Beschleunigern und Ionenquellen des Instituts auf dem Gebiet der Ionenimplantation von S. Kalbitzer beträchtliche Pionierarbeit geleistet. Die durch Implantation modifizierten Festkörper konnten durch Rutherford-Rückstreuung oder spezifische Kernreaktionen analysiert werden. Schwerpunkte waren die Bestimmung von Tiefenprofilen, Reichweiten geladener Teilchen und Diffusionsprozesse. Ab 1986 wurde eine Quelle für feinfokussierte Ionenstrahlen (Durchmesser 1 μm) entwickelt.

Oberflächenuntersuchungen mit ^8Li -Ionen

Von 1989 bis 2000 führte eine Marburger Gastgruppe Oberflächenuntersuchungen mit polarisierten ^8Li -Ionen durch, welche am MP-Tandem erzeugt wurden.

Die Protonen-Mikrosonde

Die 1977 am EN-Tandem eingerichtete Protonen-Mikrosonde (PIXE) erreichte eine Empfindlichkeit von 1 ppm für Elemente mit $Z > 15$. Damit wurde von der Gruppe um D. Pelte, K. Traxel und B. Povh bis 1989 in Meteoriten, Mondgestein, Mineralien und biologischen Proben die Spurenelementkonzentration mit einer Auflösung von $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ bestimmt. Außerdem wurden Methoden zur Präparation biologischer Proben



Querschnitt durch eine Wurzel von *Brassica Juncea L.*, die in Cd-kontaminiertem (blau) Boden gewachsen ist. K (gelb) zeigt die Zellstruktur.

entwickelt. 1991 wurde die PIXE-Sonde am Pelletron neu aufgebaut, wo sie bis 2002 betrieben und ständig weiterentwickelt wurde (mit D. Schwalm). Dadurch wurde auch Rutherford-Rückstreu-Spektrometrie für die Elemente Li – Na möglich. An Ende lag der Schwerpunkt der Messungen auf der Schwermetallverteilung in Pflanzen und Symbionten.

Theoretische Vielteilchenphysik

Dieses Arbeitsgebiet wurde mit der Berufung von H. Weidenmüller im Jahre 1968 am Institut etabliert. Über viele Jahre standen kernphysikalische Fragestellungen im Vordergrund. Das besondere Interesse galt der Theorie der Kernreaktionen. In den ersten Jahren ging es vor allem um die Beschreibung von Kernreaktionen im Schalenmodell der Atomkerne. Während die Schalenmodelltheorie der Kernstruktur schon weit entwickelt war, steckte die Schalenmodelltheorie der Kernreaktionen noch in den Kinderschuhen. Die Untersuchungen wurden häufig in enger Zusammenarbeit mit den experimentellen Gruppen durchgeführt.

Im Lauf der Jahre verschob sich das Schwergewicht immer mehr von einer dynamischen zu einer stochastischen Beschreibung. Reaktionsprozesse zwischen schweren Ionen, Compoundkernreaktionen, oder Reibung in der Kernspaltung waren anders nicht zugänglich. Der Komplexität des kernphysikalischen Vielteilchenproblems wird man häufig besser durch einen stochastischen Ansatz als durch den Versuch gerecht, die Schrödingergleichung näherungsweise zu lösen, und die theoretische Kernphysik ist dann statistische Mechanik eines großen, aber endlichen Vielteilchensystems.

Mit dieser Verschiebung geriet die allgemeine Theorie des Quantenchaos, insbesondere die Theorie chaotischer Streuung, in das Blickfeld, und Zufallsmatrizen rückten immer mehr in das Zentrum des Interesses. Ein neues theoretisches Verfahren – die Verwendung einer supersymmetrischen erzeugenden Funktion – ermöglichte die Lösung lange offener Probleme.

Seit Mitte der 1980er-Jahre wurden die Arbeiten auf nicht-kernphysikalische Fragestellungen ausgedehnt, z. B. auf Elektronentransport durch mesoskopische Systeme, auf die Gittertheorie in der Quantenchromodynamik, oder auf die Untersuchung chaotischer Quantensysteme mittels Hohlleitern für Mikrowellen. Auch allgemeine theoretische Fragestellungen wurden aufgegriffen und im Rahmen der Theorie der Zufallsmatrizen behandelt, so die Brownsche Molekularbewegung in der Quantenmechanik, die Rolle von Zweikörperkräften für chaotische Dynamik, oder die universelle Gültigkeit stochastischer Ansätze.

Zugleich entstanden weiterhin Arbeiten zur Kernphysik, etwa über Symmetriebrechung im Compoundkern, über den Zerfall superdeformierter Rotationsbanden, und über Chaos in Kernspektren.

Hochenergiephysik

Lichtkegelquantisierung

H.-C. Pauli, seit Anfang der 1970er-Jahre am Institut und vom kernphysikalischen Vielteilchenproblem herkommend, wandte sich mit seiner theoretischen Arbeitsgruppe Mitte der 1980er Jahre der Lichtkegelquantisierung zu. Dieser damals in Vergessenheit geratene und von ihm neu aufgegriffene und erweiterte Zugang zur Quantenfeldtheorie bietet gegenüber den herkömmlichen Verfahren Vorteile, die von der Arbeitsgruppe untersucht und ausgenutzt wurden. Die dabei gewonnenen Einsichten mündeten schließlich in neuartige phänomenologische Modelle zur Quarkstruktur der Nukleonen.

Hochenergie-Kernphysik

Bedingt durch die Beteiligung von W. Gentner an der Gründung des CERN in Genf bestanden schon vor 1958 Verbindungen zu dieser Großforschungsanlage. Gastgruppen des Instituts waren ab Mitte der 1960er Jahre am CERN, FZK und DESY tätig. Später wurden auch regelmäßig die Schwerionenbeschleuniger der GSI und die Elektronenbeschleuniger in Mainz genutzt. Schwerpunkt der Gruppe von B. Povh am CERN waren ab 1970 Kernstrukturuntersuchungen an so genannten Hyperkernen, bei denen ein Neutron durch ein Λ - oder Σ -Hyperon (innere Anregungen von Nukleonen) ersetzt ist. Die Lebensdauer der Λ -Hyperonen ist ausreichend groß, um die Λ -Nukleon-Wechselwirkung studieren zu können.

Struktur der Hadronen

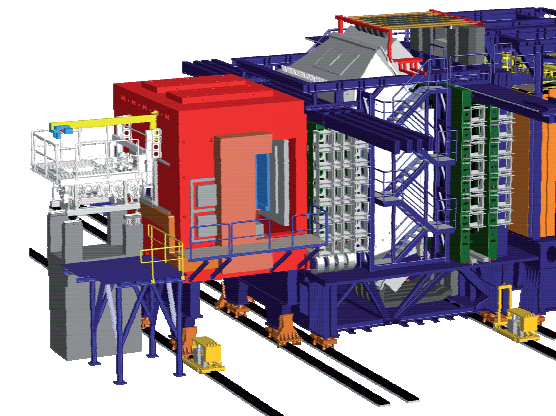
Die Quark-Antiquark-Wechselwirkung im Bereich niedriger Energien wurde Anfang der 1980er-Jahre in Proton-Antiproton-Streuexperimenten am Antiprotonen-Speicherring LEAR untersucht. 1986 begann das Institut mit internationaler Beteiligung am CERN ein großes Experiment (tiefinelastische Streuung von Myonen an Protonen oder Neutronen) zur Bestimmung der inneren Struktur (Quarks) der Nukleonen. Darüber hinaus hatte das MPIK das Projekt REX-ISOLDE initiiert (D. Schwalm) und mitrealisiert und beteiligte sich am Schwerionenexperiment CERES (J. P. Wurm). Ab Anfang der 1990er Jahre wirkte das Institut federführend am HERMES-Experiment am HERA-Speicherring (DESY), welches die Spinstruktur der Nukleonen untersuchte. Hierzu wurde von E. Steffens ein internes polarisiertes Wasserstofftarget (FILTEX) entwickelt und am TSR getestet. Für ein weiteres Experiment am DESY (H1) baute das MPIK einen ortsempfindlichen Neutronendetektor auf. Mit spektrosko-

pischen Methoden wurde die Struktur der Hadronen im Hyperonenstrahlexperiment WA-89 am CERN und im SELEX-Experiment am Fermilab (USA) untersucht.

Physik schwerer Quarks

Mit der Berufung von W. Hofmann an das Institut 1988 erweiterte sich das Gebiet der Kern- und Teilchenphysik auf die Untersuchung schwerer B-Mesonen und ihrer Zerfallseigenschaften, zunächst mit dem ARGUS-Detektor am Speicherring Doris II in Hamburg. 1990 konnte dort ein am MPIK entwickelter Vertexdetektor installiert und getestet werden. Ferner wurden Studien für zwei Nachfolgeprojekte (B-Mesonen-Fabrik und HERA-B) betrieben.

An den Vorbereitungen und der Durchführung des HERA-B-Experiments am DESY war die Gruppe um K. T. Knöpfle und M. Schmelling maßgeblich beteiligt. Ein wesentlicher Beitrag des Instituts waren Design und Betrieb des Silizium-Vertex-Detektors. Zur Entwicklung spezieller integrierter Schaltungen wurde 1994 gemeinsam mit der Universität das Heidelberger ASIC-Labor gegründet.



Der HERA-B-Detektor.

Aufbauend auf der Arbeit für HERA-B befasste sich das Institut seit 1998 mit der Entwicklung von Auslesechips und Siliziumdetektoren für das LHCb-Experiment am Large Hadron Collider des CERN. Nach Abschluss der Bauphase konzentriert sich die Gruppe von M. Schmelling nun auf die Auswertung der ab Ende 2008 erwarteten Daten, die u. a. zur Beantwortung der Frage nach der Asymmetrie von Materie und Antimaterie nach dem Urknall beitragen sollen.

Atomphysik

Sowohl W. Bothe als auch W. Gentner kamen ursprünglich aus dem Bereich der Atomphysik: W. Bothe und H. Geiger konnten 1924 in Berlin durch eine erste Koinzidenzmessung (für die Bothe 1954 den Nobelpreis erhielt) die Gültigkeit von Energie- und Impulserhaltung für jeden einzelnen Comptonprozess zeigen, was im Widerspruch zur rein statistischen Interpretation von N. Bohr, H.A. Kramers und J.C. Slater stand. W. Gentner hatte im Biophysik-Institut bei F. Dessauer in Frankfurt mit einer Arbeit über Ionisationsprozesse von Strahlung in Biomaterie und dessen biologische Wirkung promoviert.

Die Anfänge der Atomphysik in den frühen 1960er-Jahren am neuen Tandem-Beschleuniger des MPIK waren stark anwendungsorientiert mit den Schwerpunkten Umladung der Ionenstrahlen im Restvakuum und Ionenstrippern sowie Entwicklung von Ionenquellen (Gastgruppen O. Haxel / K. Bethge und C. Schmelzer, U Heidelberg). Ab 1965 wurden Messungen zur Umladung und zum Energieverlust mittelschwerer Ionen in Festkörpern durchgeführt; hinzu trat die Untersuchung von Konversionselektronen aus Kernübergängen (siehe S. 16).

Reine atomare Grundlagenforschung begann 1973 mit Projekt-Photon-Koinzidenzmessungen der Gruppe K. Bethge / H. Schmidt-Böcking zur Innerschalenionisation durch schnelle Li-Projektile, woran von Seiten der Theorie großes Interesse bestand. Zusammen mit I. Tserruya (Weizmann-Institut) und R. Schuch wurden dann systematisch viele Stoßsysteme untersucht und quasimolekulare Elektronanregungsprozesse in schweren Ion-Atomstößen erstmals im Detail vermessen. Dazu wurden von der Gruppe neue ortsauflösende Parallelplattenlawinenzähler mit Raten bis nahe dem Gigahertzbereich entwickelt.

Bei hochgeladenen wasserstoffartigen Projektilen konnten in quasimolekularen Innerschalentransferprozessen sowie in der Röntgenemission Quantenbeats nachgewiesen werden, die erstmals eine zeitaufgelöste Messung von elektronischen Prozessen im Subattosekundenbereich ermöglichten.

Anfang der 1980er-Jahre wurden die Prozesse der Vielfachionisation im schnellen Schwerionenstoß zu einem neuen Forschungsgebiet in der Schwerionenatomphysik. Aus diesen Untersuchungen entstand später die Rückstoßionen-Impulsspektroskopie mit der Entwicklung des COLTRIMS-Reaktionmikroskopes (siehe S. 13).

Physik mit gespeicherten Ionen

Atom- und Molekülphysik am Speicherring TSR

Die niedrige Strahltemperatur und hohe Elektronendichte im Kühler des TSR erlauben zugleich hochpräzise und effiziente Untersuchungen zum Einfang von Elektronen in unbesetzte Zustände der umlaufenden Ionen. 1989 konnte die Gruppe von D. Habs, D. Schwalm und A. Wolf erstmals hochauflösend die dielektronische Rekombination (Einfang verbunden mit der Anregung eines weiteren Elektrons) vermessen, was ein neues Feld der Spektroskopie für hochgeladene Schwerionen eröffnete. Mit dem Aufbau des Elektronentargets konnte die Genauigkeit dieser Messungen nochmals gesteigert werden.

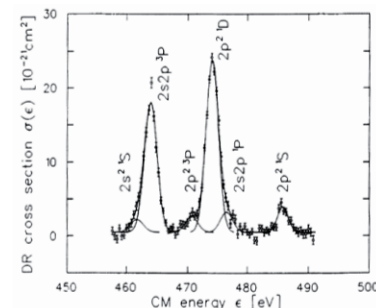
Im Speicherring können auch die Reaktionen molekularer Ionen und damit fundamentale chemische Prozesse quasi unter Weltraumbedingungen studiert werden. Die Resultate helfen zu verstehen, wie z. B. einfache organische Moleküle in interstellaren Gaswolken erzeugt werden.

Ionenfallen und CSR

Eine in Kooperation mit dem MPIK von D. Zajfman am Weizmann-Institut (Rehovot, Israel) Ende der 1990er-Jahre entwickelte kompakte lineare Falle für Ionenstrahlen wird heute für Experimente am Freie-Elektronen-Laser FLASH (Hamburg) eingesetzt. Eine solche Falle bildet aktuell zu Testzwecken den Prototyp für ein gerades Teilstück des im Aufbau befindlichen kryogenen Speicherrings CSR (siehe S. 12).

Präzisionsmessungen an gespeicherten und gekühlten Ionen gehören zum Arbeitsgebiet von K. Blaum, der 2007 an das MPIK berufen wurde. Mittels atomphysikalischer Methoden lassen sich Kerneigenschaften mit sehr hoher Genauigkeit bestimmen, so dass dieses neue Teilgebiet in der Tradition kernphysikalischer Untersuchungen am Institut steht.

Vorbereitungen für Präzisionsmessungen an Antimaterie werden derzeit in der Gruppe von A. Kellerbauer durchgeführt.

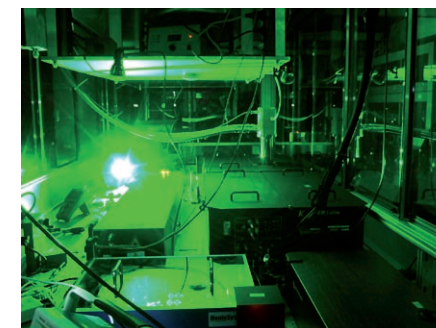


Das erste hochauflösende Spektrum der dielektronischen Rekombination 1989 am TSR, mit O^{7+} gemessen.

Atomare Reaktionen, Fallen, Laser

Experimentelle Quantendynamik in starken Feldern

Seit 2001 wird in der Abteilung von J. Ullrich mit Reaktionsmikroskopen (siehe S. 13) untersucht, wie sich Quantensysteme aus mehreren Teilchen (Atome, Moleküle, Cluster) in starken Feldern verhalten. Diese Situation tritt sowohl bei Kollisionen mit geladenen Teilchen wie auch in intensiven Laserpulsen auf. Die Messungen haben zu Ziel, die Reaktionen möglichst vollständig zu vermessen und mit Unterstützung theoretischer Arbeiten die zugrunde liegenden Mechanismen aufzuklären. Ein Femtosekundenlasersystem der Gruppe von R. Moshhammer wird genutzt, um ultrakurze Prozesse, wie z. B. die Schwingung eines Moleküls, zeitaufgelöst zu verfolgen.



Ti:Saphir-Femtosekundenlaser.

Atomfallen und ultrakalte Materie

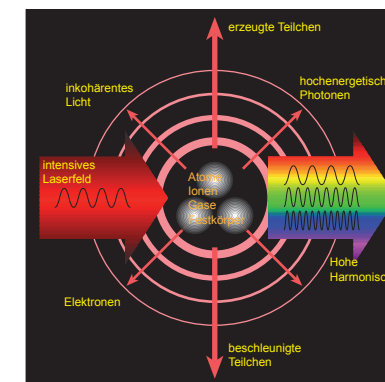
Im Zusammenhang mit der Laserkühlung von Ionenstrahlen am TSR wurden von 1990 bis 2003 in den Gruppen von R. Grimm und M. Weidemüller neue Experimente zum Studium kalter Atome aufgebaut und durchgeführt. Als kaltes Target wurde am TSR eine magneto-optische Falle für Li-Atome installiert. Eine Eigenentwicklung stellte die gravito-optische Oberflächenfalle GOST dar, in welcher kalte Atome mit Lichtkräften über einer Oberfläche in der Schwebe gehalten werden können. Eine kombinierte Dipolfalle für Li- und Cs-Atome eröffnete das Studium von chemischen Reaktionen bei extrem tiefen Temperaturen.

Seit 2006 betreibt die Nachwuchsgruppe von S. Jochim ein Labor zur Erzeugung und Untersuchung ultrakalter Quantengase, die ein wichtiges Modellsystem für die Quantenphysik von Vielteilchensystemen darstellen. Ende 2007 konnte zum ersten Mal ein Bose-Einstein-Kondensat aus Lithium-Atomen erzeugt werden.

Theoretische Quantendynamik

Theorie relativistischer und kollektiver Quantendynamik in starken Laserfeldern

Die quantentheoretischen Arbeiten der seit 2004 von C.H. Keitel geleiteten Abteilung zielen auf ein detailliertes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen allen Bestandteilen atomarer, ionischer oder molekularer Systeme mit hochintensiven Laserfeldern. Dabei spielen die Effekte der speziellen Relativitätstheorie eine wichtige Rolle. Beschrieben werden die Rekollision und die dadurch mögliche Erzeugung hoher Harmonischer der Laserfrequenz sowie die Zwei-Elektronen-Rekombination nach doppelter Ionisation. Extrem intensive Laserpulse ermöglichen die direkte Beschleunigung leichter Atomkerne.



Das Szenario der theoretischen Quantendynamik in starken Laserfeldern.

Berechnungen (J. Evers) der Quanten-Interferenzeffekte durch resonante Kopplungen in einem Ensemble zeigten z. B., dass ein negativer Brechungsindex erzeugt werden kann. Weiterhin werden von D. Bauer kollektive Effekte berechnet, die in größeren Ensembles in starken Laserfeldern auftreten.

Lasermodifizierte Quantenelektrodynamik, Kern- und Hochenergieprozesse

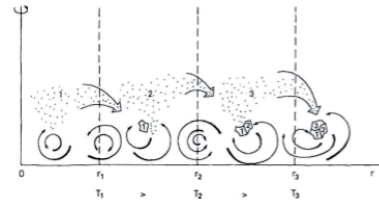
Die Resultate der quantenelektrodynamischen Berechnungen (U. Jentschura) wurden mit Präzisionsexperimenten in Ionenfallen und Speicherringen überprüft. Effekte unter dem Einfluss eines sehr starken Laserfeldes, wie die Kopplung von Photonen an Vakuumfluktuationen oder die Erzeugung neuer Teilchen in Kollisionsprozessen werden im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit untersucht. Theoretische Studien ergaben, dass die direkte Wechselwirkung superintensiver Röntgen-Laserstrahlen (zukünftig z. B. am XFEL des DESY) mit vorbeschleunigten Atomkernen eine resonante Anregung des Kerns bewirken, wodurch dessen Eigenschaften (wie Schalenstruktur oder Ladungsverteilung) auf optischem Wege vermessen werden können.

Theoretische Astrophysik

Die Forschungsrichtung Astrophysik gibt es am MPIK seit der Berufung von H.J. Völk als Direktor 1975. Sie hat sich auf Gebiete konzentriert, die am Institut auch eine experimentelle Tradition hatten und diese dann zu neuen Arbeitsfeldern des MPIK erweitert. Das ist zum einen die Physik der Kosmischen Strahlung, die an die Arbeiten von W. Bothe in den 1920er-Jahren anknüpft, zum anderen die Theorie der Stern- und Planetenentstehung, die mit den Arbeiten zur Meteoriten- und Staubforschung eng verbunden ist. Die Erweiterungen sind die Infrarot-Astronomie (siehe S. 30) und – vor allem – die erdgebundene Hochenergie-Gammaastronomie, die zusammen mit der Abteilung von W. Hofmann vorangetrieben wurde und jetzt eines der wesentlichen Arbeitsgebiete des Instituts darstellt.

Entstehung des Sonnensystems

Zusammenstöße von Staubteilchen führen in einer turbulenten Staubscheibe, aus der die Planeten entstehen, zum raschen Zusammenkleben (Koagulation). Das resultierende Größenwachstum sowie umgekehrt die Verdampfung und Rekondensation als die drei Primärprozesse für die Bildung großer fester Körper (Planetesimale



Modell des diffusiven Staubtransports in einer protoplanetaren Staubscheibe.

als Vorläufer der Planeten und Kometen) wurden 1975 bis 1987 untersucht zur Erklärung der Entstehung des Sonnensystems. Dieser Entstehung geht der gravitative Kollaps einer interstellaren Gaswolke unter der eigenen Schwerkraft voraus, der zugleich zur Bildung einer so genannten Akkretionsscheibe (Staubscheibe) und zum Aufbau des Zentralsterns (Sonne) führt. Diese vorausgehenden Prozesse wurden gemeinsam mit der Universität Heidelberg (W. Tscharnuter) untersucht.

Ausbreitung und Erzeugung der kosmischen Strahlung

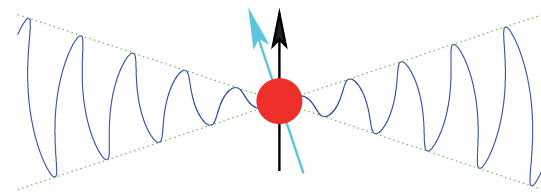
Die Theorie der Ausbreitung energetischer Teilchen wurde 1975 bis ca. 1987 von der Gruppe um H. Völk und G. Morfill als solche vorangetrieben und dann auf das interplanetare Medium angewendet. Dies führte unter anderem zu einem Erklärungsansatz für die Abschwächung („Modulation“) der

galaktischen kosmischen Strahlung im Sonnensystem durch den Sonnenwind. Die Theorie wurde aber auch zur Untersuchung des interstellaren Mediums in der Milchstraße verwendet. So zeigte beispielsweise die Untersuchung von massereichen interstellaren Molekülwolken, dass die hochenergetische Komponente der kosmischen Strahlung in diese Wolken ungestört eindringen kann. Diese Wolken sollten daher nachweisbare Quellen von Gammastrahlung in unserer Galaxie sein.

Die Theorie der Beschleunigung von Teilchen in Stoßwellen wurde seit 1980 nichtlinear erweitert zu einer Theorie der Erzeugung der kosmischen Strahlung (H.J. Völk mit L. Drury und J. McKenzie). Daraus ergeben sich unter anderem Modelle für die Erzeugung von hochenergetischer Gammastrahlung in astrophysikalischen Quellen. Diese werden verglichen mit Beobachtungen von Satelliten und vom Erdboden aus. Dadurch wurde die Gammaastronomie von einer primär phänomenologisch orientierten Wissenschaft zu einem auf einer quantitativen Theorie aufgebauten Teil der Astrophysik.

Kompakte Objekte und galaktischer Wind

Seit 1980 hat die Gruppe um J. Kirk an der Theorie der kompakten Objekte im Kosmos gearbeitet (vor allem Pulsare, aber auch die Jets und Akkretionsscheiben von Quasaren und die mögliche Teilchenbeschleunigung in diesen Objekten) und führt dies bis heute weiter.



Modell für den Krebspulsar. Poloidale Struktur des „current sheet“ (durchgezogene blaue Kurve). Die Pfeile zeigen die Drehachse (vertikal) und die magnetische Dipolachse (geneigt). Die gestrichelte Linie begrenzt die äquatoriale Zone des Pulsarwinds, in der magnetische Wiederverbindungen möglich sind.

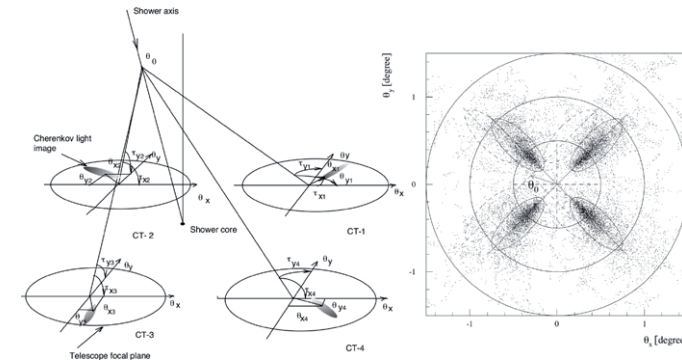
Ebenso hat H.J. Völk mit J. McKenzie, D. Breitschwerdt und Kollegen aus Russland (V. Ptuskin und V. Zirakashvili) eine Theorie des Massenverlustes (galaktischer Wind) unserer Milchstraße und anderer Galaxien entwickelt.

Hochenergie-Gammaastronomie

Ab Anfang der 1990er-Jahre entwickelte sich die Hochenergie-Gammaastronomie mit theoretischen und experimentellen Arbeiten zu einem Forschungsschwerpunkt des MPIK.

Theoretische Arbeiten

Die Gruppe um H.J. Völk und F. Aharonian beteiligt sich daran durch die Entwicklung der Theorie der bodengebundenen Gammaexperimente mit Cherenkov-Teleskopen und der Theorie von Gammaquellen, der Interpretation der Beobachtungsergebnisse sowie Vorschlägen für neue Projekte.

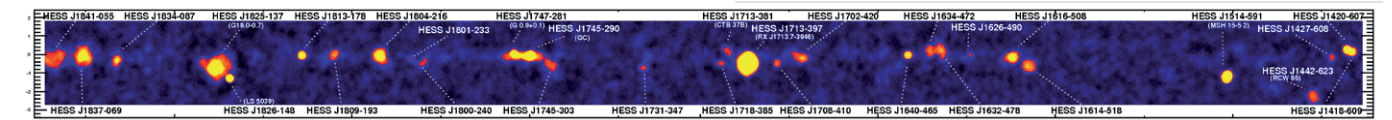


Untersuchung des Potentials bodengebundener Cherenkov-Teleskopie: Herkunftsbestimmung mittels Stereoskopie.

HEGRA: CRT und IACT

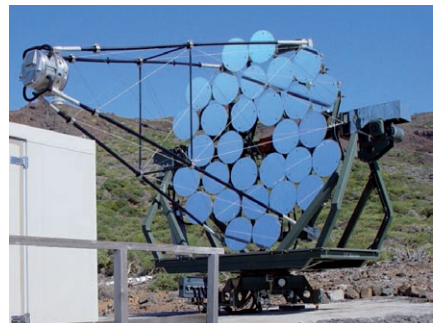
Das HEGRA-Experiment (High-Energy Gamma-Ray Astronomy) auf der Kanareninsel La Palma beobachtete zwischen 1987 und 2002 mit verschiedenen Detektoren – zwei davon mit Beteiligung des MPIK – Teilchen oder Licht aus Luftschauern, die von kosmischer Strahlung ausgelöst werden.

1993–1996 wurden die Bahnen sekundärer Teilchen der kosmischen Strahlung im Energiebereich von 10^{14} bis 10^{15} eV mit Spurdetektoren (CRT) vermessen und daraus die Massenzusammensetzung abgeleitet. Die CRTs bestanden aus Systemen von Driftkammern und waren ab 1988 von K. Bernlöhr, W. Hofmann und M. Panter mit J. Heintze (U Heidelberg) entwickelt worden. Für die Beobachtung der kosmischen



Bei der systematischen Durchmusterung der Milchstraße wurden von H.E.S.S. zahlreiche neue Gammaquellen entdeckt, die teilweise in anderen Wellenlängenbereichen nicht sichtbar sind.

Gammastrahlung im Bereich über 0,5 TeV wurde 1992–1998 von einer internationalen Kollaboration ein stereoskopisches System aus 5 abbildenden atmosphärischen Cherenkov-Teleskopen (IACT) mit je 8,5 m² Spiegelfläche aufgebaut. Die Kameras mit je 271 Photomultipliern und schneller Ausleseelektronik wurden am MPIK in der Abteilung von W. Hofmann entwickelt und gebaut. Schon während der Bauphase wurde der Krebs-Nebel mit hoher Signifikanz detektiert und Ausbrüche der BL-Lac-Objekte Mrk 421 und Mrk 501 beobachtet. Die Gammastrahlungsspektren dieser aktiven galaktischen Kerne hängen vom Aktivitätszustand der Quelle ab.



Eines der fünf HEGRA-Cherenkov-Teleskope auf La Palma.

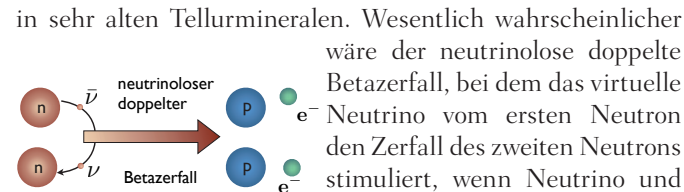
H.E.S.S.

1996 begannen die Vorarbeiten für das Nachfolgeprojekt „High-Energy Stereoscopic System“, für das ein astronomisch idealer Standort im Khomas-Hochland von Namibia gefunden werden konnte, und das von einer großen europäisch-afrikanischen Kollaboration unter Federführung des MPIK (W. Hofmann und H.J. Völk) seit 2004 betrieben wird. Die vier Teleskope mit einer Spiegelfläche von je 107 m² wurden 2000–2003 gebaut; derzeit wird in der Mitte ein weiteres, größeres Teleskop (H.E.S.S. II) errichtet. Das Instrument detektiert Gammastrahlen mit einer Energie oberhalb von 100 GeV und hat ein großes Sichtfeld von 5 Grad. Mit H.E.S.S. gelang u. a. das erste aufgelöste Bild eines Supernovaüberrests im Gammalicht (siehe Titelbild), die Entdeckung eines kompakten Objekts, dessen Gammastrahlenfluss periodisch variiert, weil es einen massiven Stern umkreist, oder der unerwartete Nachweis von Gammastrahlung ferner aktiver Galaxien.

Neutrino-physik

Doppelter Betazerfall

1967 gelang T. Kirsten erstmals der definitive Nachweis des sehr seltenen doppelten Betazerfalls durch massenspektrometrische Bestimmung der Anreicherung von ^{130}Xe , das aus ^{130}Te entsteht, in sehr alten Tellurmineralen. Wesentlich wahrscheinlicher wäre der neutrinolose doppelte Betazerfall, bei dem das virtuelle Neutrino vom ersten Neutron den Zerfall des zweiten Neutrons stimuliert, wenn Neutrino und Antineutrino identische Teilchen wären und Masse haben („klassische“ Neutrinos sind masselos). 1988 bis 2003 wurde von H.-V. Klapdor-Kleingrothaus mit dem Heidelberg-Moskau-Experiment nach dem neutrinolosen doppelten Betazerfall in ^{76}Ge gesucht. Es lieferte zwar starke Hinweise auf dessen Existenz, aber ein zweifelsfreier Nachweis gelang nicht.



Dieser Nachweis soll mit dem seit 2004 im Gran-Sasso-Untergroundlabor in Italien in Planung und Aufbau befindlichen internationalen GERDA-Experiment erbracht werden, dessen Sprecher S. Schönert ist und an dem die Abteilungen von M. Lindner und W. Hofmann mitwirken. Es verwendet ebenfalls mit ^{76}Ge angereicherte fast nackte Germaniumdioden, die sich zur Abschirmung und Kühlung in einem Tank mit flüssigem Argon befinden. Große Anstrengungen richten sich auf eine deutlich verbesserte Abschirmung von Störstrahlung durch Verwendung von hochreinen Materialien, die im Low-Level-Labor des MPIK charakterisiert werden.

Dieser Nachweis soll mit dem seit 2004 im Gran-Sasso-Untergroundlabor in Italien in Planung und Aufbau befindlichen internationalen GERDA-Experiment erbracht werden, dessen Sprecher S. Schönert ist und an dem die Abteilungen von M. Lindner und W. Hofmann mitwirken. Es verwendet ebenfalls mit ^{76}Ge angereicherte fast nackte Germaniumdioden, die sich zur Abschirmung und Kühlung in einem Tank mit flüssigem Argon befinden. Große Anstrengungen richten sich auf eine deutlich verbesserte Abschirmung von Störstrahlung durch Verwendung von hochreinen Materialien, die im Low-Level-Labor des MPIK charakterisiert werden.

Solare Neutrinos, Neutrinomasse und -oszillationen

Neutrinos bieten die einzige Möglichkeit, direkt die Fusionsprozesse im Sonneninneren zu beobachten. Bereits 1976 begannen Vorarbeiten für ein Experiment zum radiochemischen Nachweis solarer Neutrinos, bevor 1979 unter Leitung von T. Kirsten und W. Hampel die konkreten Planungen für das internationale GALLEX-Experiment im Gran-Sasso-Untergroundlabor starteten. Es benutzte die Reaktion von ^{71}Ga mit Elektronenneutrinos aus der Wasserstoff-Fusion. Es entsteht ^{71}Ge , das mit am Institut gebauten Low-Level-Proportionalzählrohren in Miniaturbauweise nachgewiesen wurde. 1991 registrierte GALLEX die ersten Sonnenneutrinos. Entschei-

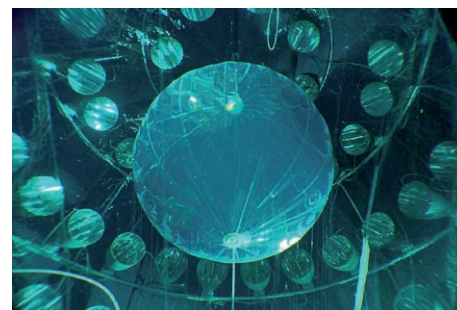
dende Voraussetzung dafür war die drastische Reduzierung von Störreaktionen auf weltweit bis dahin nicht erreichtem Niveau. Der schlüssige Beweis eines statistisch signifikanten Defizits gegenüber dem vom Standard-Sonnenmodell vorhergesagten Neutrinofluss gelang 1994. Da GALLEX im Gegensatz zu anderen Sonnenneutrinoexperimenten wegen seiner niedrigen Energieschwelle die primären Wasserstoff-Fusionsneutrinos („pp-neutrinos“) maß, waren damit Neutrinooszillationen, d. h. die Umwandlung der drei Neutrinoarten ineinander, und Neutrinomasse indirekt bewiesen. Die Messungen wurden bis 1997 fortgesetzt mit dem Gesamtergebnis, dass etwa 40% der erwarteten Elektronenneutrinos fehlen.

Das Nachfolgeexperiment GNO verwendete die überarbeiteten Aufbauten von GALLEX weiter, um in kontinuierlichen Messungen bis 2003 die statistische Signifikanz noch weiter zu verbessern. Unter Berücksichtigung von Neutrinooszillationen mit Mischungsparametern, die in nachfolgenden Sonnenneutrinoexperimenten (Superkamiokande, SNO) ermittelt wurden, stimmen die GALLEX Messdaten mit dem Standard-Sonnenmodell überein.

Mit GALLEX/GNO konnte das Spektrum im niederenergetischen Bereich nur integral gemessen werden. Deshalb wurde ab 1993 zunächst ein Testmodell für Borexino im Gran-Sasso-Untergroundlabor aufgebaut, um mittels eines hochreinen Flüssigszintillators eine spektral aufgelöste Messung zu ermöglichen. Auch hier spielen die langjährigen Erfahrungen am MPIK mit Low-Level-Messtechniken, Edelgasmassenspekt-



Arbeiten an den GALLEX-Tanks, von denen einer mit 101 t Galliumchlorid-Salzsäurelösung gefüllt war; der zweite diente als Sicherheitsreserve.



Das Borexino-Testmodell mit Photomultipliern und der szintillatortgefüllten Nylonkugel in der Mitte.

Echtzeit. Die bisherigen Daten sind konsistent mit den Vorhersagen des Standard-Sonnenmodells und Neutrinooszillationen. Ergänzend dazu wurde in einer Pilotstudie (LENS), an der die 2000–2006 bestehende Nachwuchsgruppe von S. Schönert beteiligt war, ein alternativer Nachweismechanismus erprobt, der nur Elektronenneutrinos erfasst.

In einer Vorstudie wurde 2001–2002 die Möglichkeit ausgetestet, Oszillationen von Reaktorantineutrinos im Abstand von 20–30 km zu untersuchen. Das Reaktorantineutrinoexperiment Double Chooz soll den letzten noch unbekanntem Mischungswinkel der Neutrinos bestimmen. Die Abteilung von M. Lindner ist an der 2004 ins Leben gerufenen Kollaboration wesentlich beteiligt u. a. mit der Entwicklung und Produktion eines gadoliniumhaltigen Flüssigszintillators und der Charakterisierung der Photomultiplier. Zwei identische Detektoren in unterschiedlichem Abstand zu einem Kernkraftwerk in Frankreich werden die von den Reaktoren produzierten Antineutrinos messen.

Hochenergie-Neutrinoastronomie und dunkle Materie

Die Nachwuchsgruppe von E. Resconi ist seit 2005 an dem Neutrinoobservatorium IceCube beteiligt, das mit am Südpol in das Eis eingelassenen Photomultipliern hochenergetische Neutrinos aus astrophysikalischen Quellen wie z. B. kollabierenden Sternen misst. Außerdem wird das Instrument zur Suche nach dunkler Materie eingesetzt.

Für die Suche nach dunkler Materie und so genannten WIMPs wurden bei den Experimenten GENIUS-TF (2003–2004) und HDMS (2001–2003) Germaniumdetektoren verwendet, die für HDMS mit ^{73}Ge angereichert waren.

rometrie und Reinigung von Gasen eine wesentliche Rolle. Das Experiment konnte schließlich 2007 in Betrieb gehen und identifizierte auf Anrieb ^7Be -Neutrinos aus dem Sonneninneren eindeutig und in

Echtzeit. Die bisherigen Daten sind konsistent mit den Vorhersagen des Standard-Sonnenmodells und Neutrinooszillationen. Ergänzend dazu wurde in einer Pilotstudie (LENS), an der die 2000–2006 bestehende Nachwuchsgruppe von S. Schönert beteiligt war, ein alternativer Nachweismechanismus erprobt, der nur Elektronenneutrinos erfasst.

In einer Vorstudie wurde 2001–2002 die Möglichkeit ausgetestet, Oszillationen von Reaktorantineutrinos im Abstand von 20–30 km zu untersuchen. Das Reaktorantineutrinoexperiment Double Chooz soll den letzten noch unbekanntem Mischungswinkel der Neutrinos bestimmen. Die Abteilung von M. Lindner ist an der 2004 ins Leben gerufenen Kollaboration wesentlich beteiligt u. a. mit der Entwicklung und Produktion eines gadoliniumhaltigen Flüssigszintillators und der Charakterisierung der Photomultiplier. Zwei identische Detektoren in unterschiedlichem Abstand zu einem Kernkraftwerk in Frankreich werden die von den Reaktoren produzierten Antineutrinos messen.

Theoretische Astroteilchenphysik

Theoretische Neutrino-physik

Seit 2006 befassen sich die Abteilung von M. Lindner und W. Rodejohann, der ab 2008 eine Nachwuchsgruppe leitet, mit dem theoretischen Ursprung und der Phänomenologie der Neutrinomassen und -mischungen, wobei der „Seesaw“-Mechanismus eine besondere Rolle spielt. Das beinhaltet auch die Entwicklung einer Simulationssoftware (GLOBES) für gegenwärtige und zukünftige Experimente.

Physik jenseits des Standardmodells der Elementarteilchenphysik

Um die Abweichungen vom Standardmodell beschreiben zu können, werden neue theoretische Konzepte entwickelt. Diese umfassen alternative Symmetriebrechungsmechanismen, Supersymmetrie, Flavoursymmetrien und die große Vereinheitlichung der Kräfte. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die experimentelle Überprüfbarkeit. Deshalb werden Ergebnisse der Neutrino-physik, Astroteilchenphysik und von Beschleunigerexperimenten zusammengeführt und interpretiert.

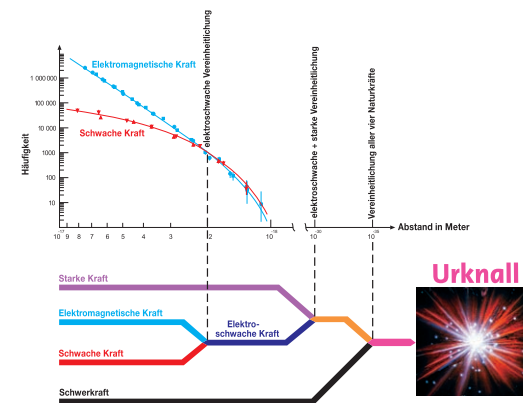


Illustration der großen Vereinheitlichung.

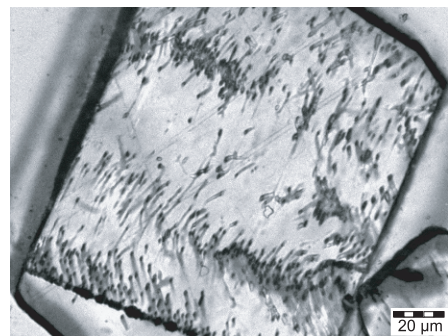
Astroteilchenphysik und Kosmologie

Zwei große Probleme der Kosmologie, die Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum (das heutige Universum besteht praktisch ausschließlich aus Materie) und die noch rätselhafte Natur von dunkler Materie und dunkler Energie (aus denen das Universum zu rund 95% besteht), werden seit 2006 am MPIK theoretisch untersucht. Dazu werden formale Modelle für die dunkle Energie sowie Leptogenese-Modelle entwickelt und der Mechanismus beschrieben.

Methoden zur Altersbestimmung

Die Entwicklung von Altersbestimmungsmethoden auf Basis des radioaktiven Zerfalls von ^{40}K in ^{40}Ar kombiniert mit der massenspektrometrischen Bestimmung des Argons und die Anwendung dieser Technik auf irdische Gesteine und Meteorite war der Grundstein für die von W. Gentner und J. Zähringer begründeten Aktivitäten auf dem Gebiet der Kosmochemie.

Solange das Kalium in einer Schmelze vorliegt, kann das gasförmige Tochternuklid entweichen, und die K/Ar-Uhr steht. Nach dem Erstarren der Schmelze akkumuliert das Ar im Gestein und kann gemessen werden; unter Berücksichtigung des Kaliumgehaltes und der bekannten Halbwertszeit ergibt sich das Alter der Probe, vorausgesetzt, diese wurde nicht zwischenzeitlich erwärmt. Um diese Schwierigkeiten zu umgehen, wurde für die Altersbestimmung der Mondproben die $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Methode entwickelt. Diese erlaubt es, durch Aktivierung des Kaliums mit Neutronen kombiniert mit differentieller Probenentgasung, Argon-Diffusionsverluste in der Vergangenheit zu erkennen.



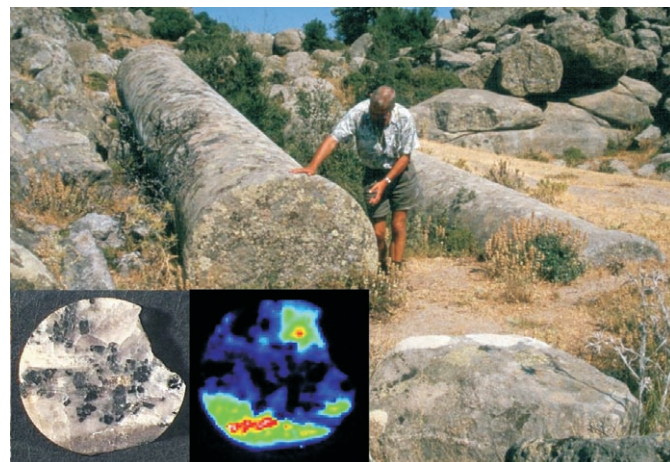
Apatit mit durch Ätzen sichtbar gemachten Spaltspuren und Versetzungen.

Eine weitere Methode zur Altersbestimmung nutzt die Spuren (Kristaldefekte), die in einem Mineral durch radioaktiven Zerfall oder durch kosmische Strahlung erzeugt wurden und durch chemisches Ätzen sichtbar gemacht

und gezählt werden können (G. Wagner). Aber auch die Population von Kratern auf den Oberflächen von Himmelskörpern stellt eine Uhr dar, die für den Fall unseres Mondes radiochemisch an Mondgesteinsproben geeicht wurde (G. Neukum). In der Archäometrie wurde als weitere wichtige Methode thermisch und optisch stimulierte Lumineszenz eingesetzt. Sie basiert auf dem Zerfall natürlicher Radionuklide in Mineralen und dem Einschluss dadurch gebildeter Ladungsträger. Stimulation der Rekombination durch Erhitzen oder Belichten produziert ein Lumineszenzsignal, das proportional zum Alter der letzten Exposition des Objekts ist.

Geochemie und Archäometrie

Die geologische Wärme- und Hebungsgeschichte der oberen Erdkruste wurde von Anfang der 1970er-Jahre an mit Edelgas-Isotopenanalysen (T. Kirsten) und Kernspaltspur-Datierungen (G. Wagner) an Mineralien aus Tiefbohrungen, insbesondere dem Kontinentalen Tiefbohrprojekt 1987–1995, rekonstruiert. Ebenfalls bis Ende der 1990er-Jahre wurden geologische Fragestellungen durch Altersbestimmungen mit der $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Methode bearbeitet und eine Edelgassystematik der Erdkruste erstellt.



Antike Granitsäulen bei Troja, Türkei, mit Querschnitt und Lumineszenzsignal, das anzeigt, wann die Säulen umfielen.

Archäometrie wurde 1973 als neues Forschungsgebiet am MPIK etabliert, und 1974 mit Mitteln der Stiftung Volkswagenwerk die Forschungsstelle Archäometrie eingerichtet. Sie wurde 1989 von der Heidelberger Akademie der Wissenschaften übernommen und bis 2006 von G. Wagner geleitet. Als Lumineszenzlabor wird sie von A. Kadereit an der Universität Heidelberg fortgeführt. Es wurden vor allem die Spaltspuren- und Lumineszenz-Altersbestimmungsverfahren weiterentwickelt und auf anorganische Materialien wie Keramiken, Gläser, gebrannte Steine oder junge Sedimente angewandt.

Archäometallurgischen Fragestellungen ging ursprünglich W. Gentner und später E. Pernicka bis 1993 nach. Die metallurgische Entwicklung und der Metallhandel früher Kulturen wurden anhand der chemischen und isotopischen Analyse und Datierung von Erzen und Schlacken sowie Metallfunden, insbesondere Münzen, verfolgt.

Meteorite, Tektite und Mondgestein

Meteorite

Meteoritenforschung wurde von W. Gentner und J. Zähringer etwa seit der Gründung des MPIK betrieben. Die Arbeiten konzentrierten sich auf die Edelgasisotopenanalyse, mit der Altersbestimmungen durchgeführt, aber auch die Wechselwirkung der Meteorite mit kosmischer Strahlung und dem Sonnenwind sowie eingeschlossene Reste des solaren Nebels, „Uredelgase“, von T. Kirsten und E. Jessberger untersucht wurden. Die Meteoritenalter von rund 4,6 Milliarden Jahren sprechen für eine schnelle Abkühlung der Mutterkörper, während die viel jüngeren Strahlungsalter den Zeitpunkt des Zerbrechens angeben. Eine wichtige Rolle spielten dabei die Messungen der Edelgasdiffusion von H. Fechtig und P. Lämmerzahl. Mineralogische Untersuchungen an Meteoriten von A. El Goresy und P. Ramdohr, u. a. mit der Elektronenmikroskopie und dem Rasterelektronenmikroskop, führten zur Entdeckung zahlreicher neuer Minerale sowie Einschlüssen ursprünglicher Materie. Die chemischen Analysen der Haupt- und Spurenelemente von E. Pernicka verschafften Einblicke in die Abkühlungs- und Fraktionierungsprozesse in den Meteoritenmutterkörpern.

Für die Untersuchungen wurde vom Institut mit großem Einsatz eine eigene wissenschaftlich wertvolle Meteoritensammlung aufgebaut. Inzwischen ist diese größtenteils dem Senckenbergmuseum in Frankfurt übergeben worden.



Eine Scheibe des Mundrabilla. Der 6 t schwere anomale Eisenmeteorit mit Sulfid- und Graphiteinschlüssen kam 1971 aus Australien zum Zersägen nach Heidelberg.

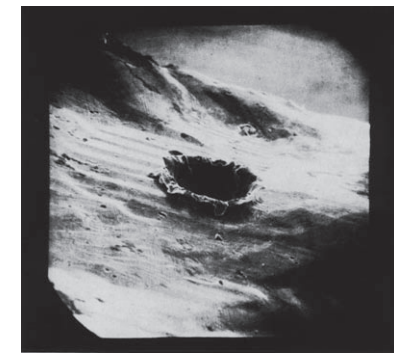
Tektite

Die umstrittene Herkunft der Tektite – einige Zentimeter große abgerundete Glaskörper, die in bestimmten, geologisch unpassenden Gebieten gefunden wurden – konnte zwischen

1959 und 1975 von W. Gentner, H. S. Lippolt und J. Zähringer aufgeklärt werden. Zur Debatte standen ein spezieller Meteoritentyp, ausgeschleudertes Mondgestein, vulkanische Produkte, oder irdische Auswurfmasse von Einschlägen großer Meteorite. Zunächst am Beispiel der in Böhmen gefundenen Moldavite und der Impaktgläser im Suevit des Nördlinger Ries wurden Altersbestimmungen und Isotopenanalysen durchgeführt, die dann auf Tektite und möglicherweise assoziierte Krater aus anderen Gebieten ausgeweitet wurden. Die Ergebnisse belegen eindeutig die letztgenannte Hypothese: K/Ar- und Spaltspurenalter der Tektite und der zugehörigen Impaktgläser sind gleich. Edelgasisotope, die nur durch kosmische Strahlung erzeugt werden können, wurden in Tektiten nicht gefunden. Die eingeschlossenen Gase zeigen typisch atmosphärische Isotopenverhältnisse.

Mondgestein

Dank der Kontakte von J. Zähringer zur NASA bekam das Institut ab 1969 Zugang zu Mondproben. Nach dessen Tod 1970 wurden die Arbeiten von T. Kirsten fortgeführt. Verschiedene Mondproben wurden mit der $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -Methode datiert und daran auch die „Krater-Uhr“ geeicht, sodass damit auch das Alter anderer Mondgegenden bestimmt werden konnte. Abgesehen von jüngeren Einschlagkratern hatte die Mondoberfläche demnach bereits vor ungefähr 3,1 Milliarden Jahren ihr heutiges Aussehen. Aus dem am Staubbeschleuniger geeichten Verhältnis von Durchmesser und Tiefe der Mikrokrater folgt, dass es neben metallischen und silikatischen Projektilen auch solche geringer Dichte gab (H. Fechtig). Mineralogische Untersuchungen an Gesteinen eines Gebietes zeigten eine Anreicherung leichtflüchtiger Elemente, die wohl beim Einschlag eines Kometen dort implantiert wurden. In Mondstaub gefundener Stickstoff und Edelgase sind implantiertes Sonnenwind. Aus deren detaillierter Isotopenanalyse konnten Rückschlüsse auf die Elementverhältnisse in der Sonne gezogen werden.



REM-Aufnahme eines Mikrometeoriteneinschlags auf Mondgestein.

Kosmischer Staub

Sammlung von kosmischem Staub mit Raketen

1964 wurde eine Staubgruppe gegründet, die von H. Fechtig und später von E. Grün geleitet wurde. Sie bereitete zunächst Raketenexperimente vor, mit denen kosmischer Staub, der auf die Erde fällt, gesammelt bzw. registriert werden sollte. Hintergrund war, dass amerikanische Raketenmessungen drastisch höhere Staubflüsse gemessen hatten als aus Zodiakallichtmessungen abgeleitet worden war. Die Raketenmessungen und spätere Satellitenmessungen des MPIK, aber auch die Auswertung der Mikrokrater auf Mondproben zeigten, dass diese amerikanischen Messdaten Artefakte waren.

Der Staubbeschleuniger

Der erste Staubbeschleuniger ging 1966 in Betrieb. Er bestand aus einem 2-MV-Van-de-Graaff-Generator mit einer Quelle für geladene Staubpartikel, einem Massenfilter und einer Vakuum-Experimentkammer. Damit konnten Teilchen aus Eisen, Aluminium, Kohlenstoff, sowie metallisch bedampfte Glas- und Kunststoffteilchen von Nanobis Mikrometern



Der Staubbeschleuniger (Zustand 2007).

Durchmesser auf Geschwindigkeiten von 100 km/s beschleunigt werden. Heute ist der verbesserte Heidelberger Staubbeschleuniger der weltweit einzige, mit dem Ergebnis, dass seit mehreren Jahrzehnten alle Weltraum-Staubdetektoren, wenn sie nicht gleich aus Heidelberg kommen, dort wenigstens kalibriert und getestet werden. Im Lauf der Jahre wurden Einschlagsphänomene wie Krater, Foliendurchschläge, Einschlags-Lichtblitze und -Ionisation detailliert untersucht. So können aus den Daten der Staubdetektoren Geschwindigkeit und Masse der Staubteilchen abgeleitet werden.

Raumsonden mit Staubdetektoren

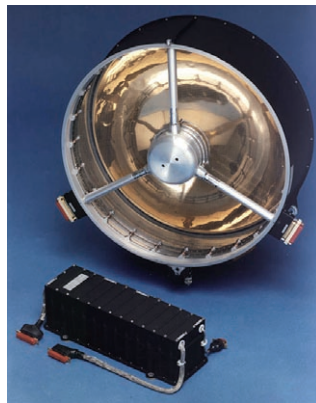
Mit einem Einschlagsionisationsdetektor auf dem Satelliten HEOS 2 (ESRO, 1972–1974) wurde der Staubteilchenfluss in Erdnähe bestimmt. Von J. Hoffmann wurden einzelne spora-

dische Teilchen, aber auch Gruppen und Schwärme beobachtet. Letztere sind wahrscheinlich kometaren Ursprungs. Für die Erforschung des interplanetaren Raums zwischen Erde und Sonne mit den deutsch-amerikanischen Sonden Helios 1+2 (1974–1986 bzw. 1976–1981) wurde ein neuer Staubanalysator entwickelt, der mit einem integrierten Flugzeitmassenspektrometer erstmals auch die chemische Zusammensetzung der Staubteilchen grob bestimmen konnte.

Die Kometenmission Giotto der ESA (Start 1985, Vorbeiflug an P/Halley 1986 und an P/Grigg-Skjellerup 1992) und die russischen Halleymissionen VeGa enthielten ein baugleiches Staubexperiment von J. Kissel mit einem verbesserten Flugzeitmassenspektrometer, das auch eine indirekte Messung der Dichte ermöglichte. Der Kometenstaub enthält wesentlich mehr leichte Elemente als kohlige Chondrite. Die Kohlenstoffisotopie deutet an, dass Kometen zum Teil aus ursprünglichem interstellarem Material bestehen.

Auf der Jupitersonde Galileo (NASA, 1989–2003) und auf der interplanetaren Sonde Ulysses (NASA, ESA, 1990–2008) waren baugleiche Staubdetektoren von H. Krüger, die elektrische Ladung, Geschwindigkeit und Masse der Teilchen sowie deren chemische Zusammensetzung registrierten. Das Instrument auf Cassini/Huygens (Saturnmission von NASA und ESA, seit 1997) hat zusätzlich einen Foliensensor für hohe Staubflüsse.

Alle drei Missionen lieferten ein völlig neuartiges Bild der Staubphänomene im Planetensystem. Sie entdeckten dort interstellaren Staub, dessen Fluss mit dem Sonnenzyklus variiert. Einen unerwarteten Strom vom submikrometergroßen Teilchen registrierten Ulysses und Galileo im interplanetaren Raum, der aus der Richtung von Jupiter kam. Als Quelle konnten Vulkane auf dem Jupitermond Io identifiziert werden. Einen ähnlichen Staubstrom fand R. Srama mit dem CDA auf Cassini auch in der Nähe von Saturn. Dessen Mond Enceladus schleudert aus seinen Geysiren große Mengen von Eisteilchen, die den E-Ring um Saturn speisen.



Der Galileo-Staubdetektor.

Laborastrophysik, Kohlenstoffmoleküle und Fullerene

Laboruntersuchungen von interplanetaren Staubteilchen

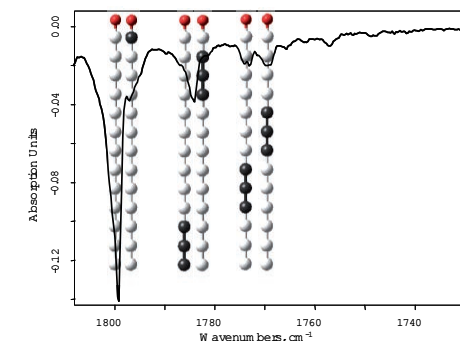
Die NASA stellte dem Institut in der Stratosphäre gesammelte interplanetare Staubteilchen zur Verfügung. Die quantitative Elementverteilung darin wurde von E. Jessberger und K. Traxel zwischen 1984 und 2000 mit der Protonenmikrosonde sowie orts aufgelöster Flugzeit-Sekundärionenmassenspektrometrie bestimmt. Entsprechende Messungen wurden auch an Mikrometeoriten aus der Antarktis durchgeführt.

Spektroskopie von interstellaren Staubteilchen

1976 wurde mit Laboruntersuchungen begonnen, mit denen Erklärungen für unidentifizierte Infrarotabsorptionen von interstellarem Staub gesucht werden sollten. Zunächst richtete sich das Interesse der Gruppe um W. Krätschmer auf Silikatstaub (Olivin) und Calcit, von denen amorphe Filme durch Ionensputtern gewonnen wurden. Aber auch die Absorptionsspektren im infraroten und sichtbaren Bereich von Kohlenstoffstaub bzw. Graphitruß und amorphem Wassereis, Wasser-Methan-Eis und festem Ammoniak wurden bei tiefen Temperaturen vermessen. Cluster aus Kohlenstoff und Magnesiumoxid wurden in einer Edelgasmatrix isoliert. In den IR-Spektren wurden Absorptionsbanden beobachtet, deren Wellenzahl nahe bei Banden des interstellaren Staubs liegt.

Kleine Kohlenstoffmoleküle

Für spektroskopische Messungen wurden seit 1984 lineare Kohlenstoffmoleküle aus bis zu 21 C-Atomen – sowie in jüngster Zeit auch Oxide dieser Kohlenstoffketten – in Argonmatrix bei tiefen Temperaturen präpariert. Dazu wurde Kohlenstoff verdampft und der Dampf, der C₂ bis C₂₀, hauptsächlich aber C₃ enthält, in eine Matrix aus Edelgas-Eis (bei ca. 10 K) eingebettet. Markierung mit ¹³C sowie theo-



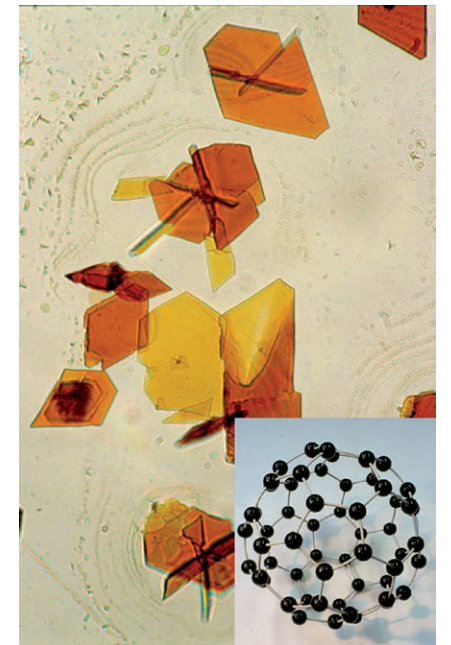
IR-Spektrum von C₁₃O-Isotopomeren, die aus ¹²C₃ (weiß) und ¹³C₃-Einheiten in Anwesenheit von CO in Ar gebildet wurden.

retische Berechnungen dienen der Zuordnung der einzelnen Banden in den Schwingungsspektren.

Angeregte Singulett- und Triplettzustände von C₃ wurden mit hochaufgelösten Anregungs- und Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzspektren analysiert sowie ihre Lebensdauern bestimmt. Die Ergebnisse belegen, dass das C₃-Molekül auch in festem Argon linear ist.

Fullerene

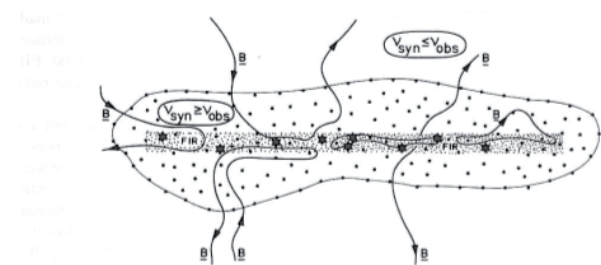
1990 gelang W. Krätschmer mit D. Huffman von der University of Arizona und ihren Mitarbeitern die erste Laborsynthese von präparativen Mengen von Fullerenen mit einer verblüffend einfachen Methode: Der im Lichtbogen zwischen Graphitelektroden unter Schutzgas in einem gekühlten Kolben gebildete Ruß enthält C₆₀, in geringeren Mengen C₇₀ und in Spuren höhere Fullerene. Außerdem bilden sich Nanoröhrchen. Nach Extraktion und chromatographischer Trennung erhält man C₆₀-Kristalle („Fullerit“), eine neue Modifikation elementaren Kohlenstoffs. So stand genügend Substanz für die physikalische und chemische Charakterisierung zur Verfügung. Damit konnte gezeigt werden, dass die von den späteren Nobelpreis-trägern H. W. Kroto, R. F. Curl und R. E. Smalley vermutete Fußball-Struktur des von ihnen massenspektrometrisch entdeckten C₆₀-Moleküls tatsächlich stimmte. Später wurden in der Gruppe von W. Krätschmer eine Reihe von Derivaten des C₆₀, Di- und Polymere sowie endohedrale Edelgas- oder Metall-Fullerenverbindungen dargestellt und spektroskopisch untersucht.



Mikroskopische Aufnahme von Fullerenkristallen (Fullerit) und die Fußball-Struktur von C₆₀.

Infrarotastrophysik

Durch Instrumentenbau, Beobachtungen und Datenauswertung war das MPIK (H.J. Völk, zusammen mit W. Krätschmer, E. Grün und R. Tuffs) ab 1986 an der Weltraummission „Infrared Space Observatory“ (ISO, Start des ISO-Satelliten Ende 1995) der Europäischen Raumfahrtagentur ESA, speziell am Photometerprojekt ISOPHOT beteiligt. Wissenschaftliches Ziel war das Verständnis der Entstehung von Sternen in Galaxien in Zusammenarbeit mit dem MPI für Astronomie in Heidelberg (D. Lemke). Ausgangspunkte für die MPIK-Gruppe waren die Frage nach der Entstehung des Sonnensystems einerseits und andererseits die theoretische Verknüpfung der Fern-Infrarotstrahlung (FIR) des interstellaren Staubes mit der Radio-Synchrotronemission der Elektronen der kosmischen Strahlung in Galaxien (H.J. Völk).



Vor allem die massereichen Sterne (*) in der Scheibe emittieren das ultraviolette und optische Licht einer Galaxie. Dieses Licht wird jedoch zu einem guten Teil vom interstellaren Staub (feine Punkte) absorbiert und über den gesamten Fern-Infrarotbereich des Spektrums wieder ausgestrahlt. Diese Sterne explodieren am Ende ihres „Lebens“ dramatisch als Supernovae und erzeugen dabei hochenergetische Elektronen, die über einen großen räumlichen Bereich im Magnetfeld B die so genannte Radio-Synchrotronstrahlung (dicke Punkte) emittieren. Bei einer gegebenen Frequenz ν_{obs} gemessen, sollte diese Radioemission dann in einem festen Verhältnis zu der Fern-Infrarotemission stehen, wenn die gesamte Energie der Elektronen in der lokalen Umgebung der Galaxie auf diese Weise – mit den Frequenzen ν_{syn} – verloren geht. Die Galaxie wirkt dann nämlich wie ein Kalorimeter. Dies wird tatsächlich beobachtet.

Seit 2005 wird die Infrarotastronomie von R. Tuffs durch Vergleich theoretischer Modelle u. a. zur Staubverteilung in Galaxien mit Daten anderer Satelliten wie dem Spitzer Space Observatory der NASA weitergeführt.

Atmosphärenphysik

1967 erfolgte der Startschuss für die Atmosphärenforschung mit dem Raketenstart einer Massenspektrometer-Sonde. Diese war von der 1964 von J. Zähringer gegründeten Gruppe „Atmosphärenforschung“ entwickelt worden. Für deren Erfolge waren die hervorragenden Techniker und Werkstätten des MPIK entscheidend. 1994 wurde mit der Berufung von K. Mauersberger Atmosphärenphysik als Abteilung etabliert.



Raketenstart auf der Arktisinsel Andoya/Norwegen.

Hochatmosphäre

1967–1988 wurden an Bord zahlreicher Raketen und zweier Erdsatelliten massenspektrometrische Messungen atmosphärischer Gase und Ionen (D. Krankowsky, P. Lämmerzahl und F. Arnold) im Höhenbereich 70–700 km durchgeführt. Hierbei gelangen zahlreiche neue Entdeckungen wie Metallatomionen meteorischen Ursprungs, während geomagnetischer Stürme gebildete ionosphärische Ionen und die Bildung mesosphärischer Wolken (80–90 km Höhe) durch Clusterionen und meteorische Aerosolteilchen.

Atmosphärische Planetensystemforschung

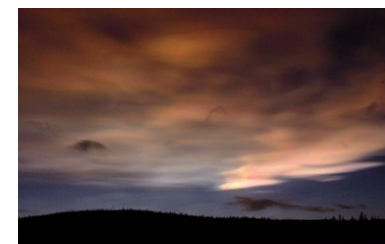
1978 begann die atmosphärische Planetensystemforschung (D. Krankowsky und P. Lämmerzahl). Während des Eindringens von Pioneer-Venus in die Hochatmosphäre der Venus mit einem vom MPIK und der Universität Bonn entwickelten Massenspektrometer fanden 3-minütige Messungen neutraler Gase statt. Außerdem wurden von einem elektrostatischen Analysator positive Ionen gemessen. 1986 folgten gleichartige Messungen in der Koma des Kometen Halley (Giotto).

Stratosphärische Umweltforschung

1977 begann eine neue Gruppe um F. Arnold mit der massenspektrometrischen Erforschung der Stratosphäre (10–50 km Höhe) mit Ballonen, Raketen und Forschungsflugzeugen. Außerdem wurden atmosphärische und interstellare Ionen-Molekül-Prozesse im Labor erforscht. Erstmals gelang der direkte Beweis, dass die klimaaktive stratosphärische Aerosolschicht hauptsächlich aus Schwefelsäure (H_2SO_4) besteht,

und Labormessungen zeigten, dass H_2SO_4 durch OH-induzierte Konversion von SO_2 gebildet wird. Gemeinsam mit P. Crutzen vom MPI für Chemie entwickelte F. Arnold 1986 eine durch Ballonmessungen seiner Gruppe inspirierte Theorie zur Entstehung des Ozonlochs. Ein Schlüsselprozess hierbei ist die Bildung von polaren Stratosphärenwolken (PSCs) in der sehr kalten polaren Stratosphäre durch Co-Kondensation von Salpetersäure und Wasserdampf. 1987–1992 gelang mit Hilfe zahlreicher Ballon- und Flugzeug-Messungen eine Bestätigung dieser Theorie. Dafür wurde F. Arnold und P. Crutzen 1994 der Deutsche Umweltpreis verliehen.

PSC-Komposition



Polare Stratosphärenwolken (20–24 km Höhe) über Kiruna/Schweden.

Zwischen 1998 und 2002 gelang der Gruppe um K. Mauersberger und J. Schreiner die direkte PSC-Kompositionsmessung in der Stratosphäre. Die an Bord von Ballongondeln durchgeführten Messungen bestätigten, dass PSCs wie erwartet hauptsächlich aus HNO_3 , H_2SO_4 und H_2O bestehen. Hierzu wurden mittels einer aerodynamischen Linse PSC-Teilchen vom Gas getrennt, verdampft und die abgedampften Moleküle massenspektrometrisch gemessen. Dabei konnten wichtige Informationen über die chemische Natur der in PSC-Teilchen vorliegenden HNO_3 - H_2O -Kondensate gewonnen werden. Die stratosphärischen Messungen wurden flankiert von Laborstudien an der Aerosolkammer AIDA des Forschungszentrums Karlsruhe.

Ozonisotopie

Mit ballongetragene gekühlten Sammlern wurde stratosphärisches Ozon zur massenspektrometrischen Laboranalyse gewonnen. Es wurde eine ungewöhnlich große Anreicherung schwerer Sauerstoffatome in O_3 beobachtet, die mit normalen kinetischen Isotopeneffekten nicht erklärbar ist. Massenspektrometrische und infrarotspektroskopische Labormessungen der Ozonbildung und des Isotopenaustauschs ergaben anomale Abhängigkeiten von Temperatur und Druck. Dies hat möglicherweise atmosphärische Konsequenzen (K. Mauersberger mit D. Krankowsky, P. Lämmerzahl und C. Jansen).

Isotope als Tracer für atmosphärische Prozesse

2000–2005 war eine BMBF-Nachwuchsgruppe um T. Röckmann am MPIK aktiv. Sie befasste sich mit hochpräzisen Messungen der in wichtigen atmosphärischen Spurengasen enthaltenen stabilen Isotope. Im Labor wurden empfindliche Isotopenbestimmungsmethoden entwickelt, mit denen Luftproben aus verschiedenen Höhen analysiert wurden. Überraschend war die Entdeckung, dass Pflanzen Methan auch unter aeroben Bedingungen emittieren. Denkbare Konsequenzen für den globalen Haushalt des Treibhausgases Methan sind noch offen.

Troposphärische Umweltforschung

Seit Ende 2003 beschäftigte sich die Gruppe um F. Arnold ausschließlich mit Umweltforschung in der Troposphäre (0–13 km Höhe), was sie bereits 1990 neben ihrer Stratosphärenforschung begonnen und seither durch die Entwicklung und den Einsatz neuartiger Massenspektrometer-Sonden systematisch ausgebaut hatte. Hier entwickelte sich eine enge Kooperation mit dem Institut für Physik der Atmosphäre des DLR (Gruppe um H. Schlager). Wichtige Forschungsthemen sind die Bildung atmosphärischer Spurengase und Ionen durch kosmische Strahlung, Blitze, Biomasseverbrennung, Industrie und Verkehr (Kraftfahrzeuge, Flugzeuge, Ozeanschiffe). Von besonderem Interesse sind Einflüsse auf das Klima. Aktuell erforscht die Gruppe Spurenstoffemissionen von katalytischen Dieselfiltern. Vorwiegend für Arbeiten zur troposphärischen Umweltforschung wurde F. Arnold der Max-Planck-Forschungspreis für Physik 2001 verliehen und zwei seiner Doktoranden (J. Curtius und M. Hanke) wurden jeweils mit einer Otto-Hahn-Medaille ausgezeichnet. Angesichts der Neuausrichtung des MPIK hat

F. Arnold eine weitgehende Verlagerung der atmosphärischen Massenspektrometrie an den langjährigen und engen Kooperationspartner DLR initiiert, die 2008 erfolgte.



Messungen im Abgasstrahl eines Verkehrsflugzeugs (Werkstattflug); Blick aus dem Cockpit des DLR-Forschungsflugzeugs.

Zahlen und Fakten

Geschäftsführung

- 01.10.1958 – 31.12.1965 Wolfgang Gentner alleiniger Direktor des Instituts
- ab 01.01.1966 Kollegium
- 01.01.1966 – 31.12.1972 Wolfgang Gentner
- 01.01.1973 – 31.12.1975 Peter Brix
- 01.01.1976 – 31.12.1978 Ulrich Schmidt-Rohr
- 01.01.1979 – 31.12.1981 Hugo Fechtig
- 01.01.1982 – 31.12.1984 Hans Arwed Weidenmüller
- 01.01.1985 – 31.12.1987 Bogdan Povh
- 01.01.1988 – 31.12.1990 Heinrich J. Völk
- 01.01.1991 – 31.12.1993 Werner Hofmann
- 01.01.1994 – 31.12.1996 Dirk Schwalm
- 01.01.1997 – 31.12.1998 Konrad Mauersberger
- 01.01.1999 – 31.12.2001 Werner Hofmann
- 01.01.2002 – 31.12.2005 Joachim H. Ullrich
- 01.01.2006 – 31.12.2008 Christoph H. Keitel

Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder

- J. Hans D. Jensen (1960–1973)
- Christoph Schmelzer (1960–2001)
- Otto Haxel (1962–1998)
- Rudolf Fleischmann (1963–2002, davor 1950–1963 MPImF)
- Heinz Maier-Leibnitz (1963–2000, davor 1953–1963 MPImF)
- Arnold Schoch (1964–1967)
- Theodor Mayer-Kuckuk (1966– heute)
- Bogdan Povh (1972–1975)
- Oliver. A. Schaeffer (1972–1981)
- Volker Soergel (1975– heute)
- Rudolf M. Bock (1979– heute)
- Gisbert Frhr. zu Putlitz (1981– heute)
- Stanley J. Brodsky (1989– heute)
- Johannes Geiss (1989– heute)
- Gerd Röpke (1999– heute)
- Daniel Zajfman (2001– heute)
- Felix A. Aharonian (2007– heute)
- Lorenz S. Cederbaum (2007– heute)
- Christof Wetterich (2007– heute)

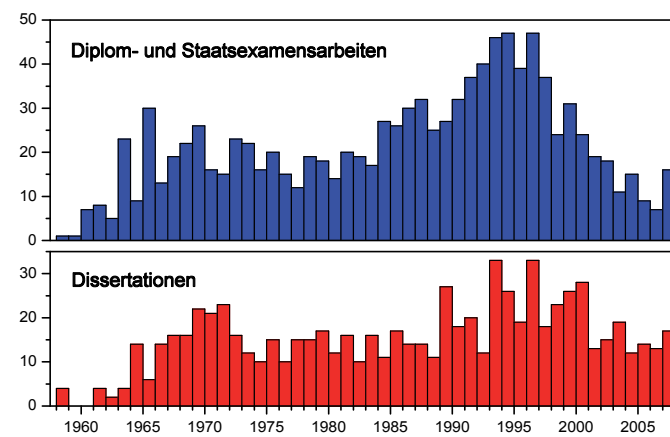
Mitarbeiterzahlen

Bei seinem 25-jährigen Bestehen 1983 hatte das MPIK 279 Beschäftigte, davon 72 Wissenschaftler und 25 Doktoranden. Heute sind es 392 Beschäftigte, davon 119 Wissenschaftler und 79 Doktoranden; dazu kommen 22 Diplomanden.

Publikationen



Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilitationen



41 Habilitationen 1958 – 2008.

Verwendete Quellen und weiterführende Literatur:

MPI für Kernphysik Jahresberichte / Tätigkeitsberichte / Progress Reports 1964 bis 2005/2006.

J. Kiko, U. Schmidt-Rohr: Max-Planck-Institut für Kernphysik, Max-Planck-Gesellschaft Berichte und Mitteilungen 1/75 und 2/84.

D. Hoffmann, U. Schmidt-Rohr (Hrsg): Wolfgang Gentner, Festschrift zum 100. Geburtstag, Springer-Verlag 2006.

U. Schmidt-Rohr: Erinnerungen an die Vorgeschichte und Gründerjahre des Max-Planck-Instituts für Kernphysik, Heidelberg 1996.

U. Schmidt-Rohr: Die Aufbaujahre des Max-Planck-Instituts für Kernphysik, Heidelberg 1998.

U. Schmidt-Rohr: Die deutschen kernphysikalischen Laboratorien II, Heidelberg 2005.

Architektur

Nach einem Architekturwettbewerb 1959 wurde der zweitplatzierte Entwurf von A. Lange und C. Müller (Büro Lange & Mitzlaff, Mannheim) realisiert.



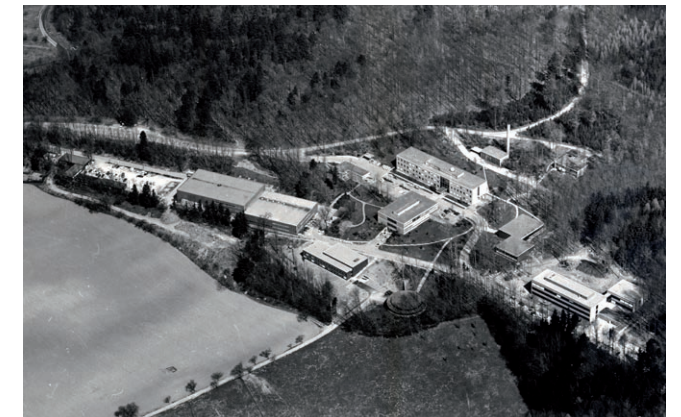
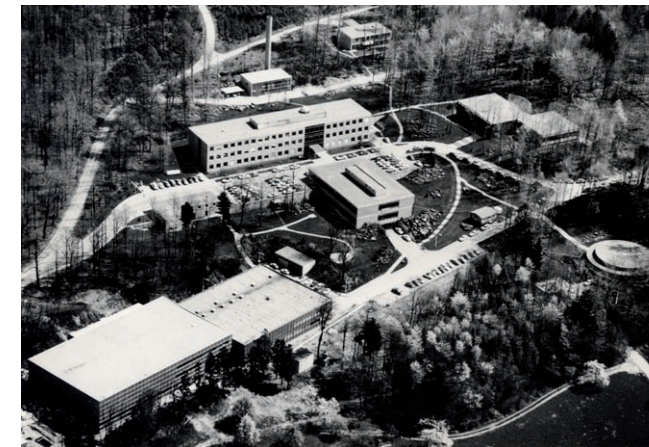
Der Speisesaal der Kantine um 1965.



Der Hörsaal um 1965.



Das Institutsgelände im Herbst 1963 (oben) und Frühjahr 1966 (unten),



1969 (oben) und 1986 (unten) sowie 2005 (Rückseite).



Hausanschrift:
Max-Planck-Institut für Kernphysik
Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

Postanschrift:
Max-Planck-Institut für Kernphysik
Postfach 103980
69029 Heidelberg

Tel: 06221 5160
Fax: 06221 516601

E-Mail: info@mpi-hd.mpg.de
Internet: <http://www.mpi-hd.mpg.de>

