



# DAS INSTITUT FÜR PHYSIK

**D**as Institut für Physik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz betreibt Grundlagenforschung und angewandte Forschung auf vielen aktuellen Gebieten der Physik. Etwa 300 Veröffentlichungen jährlich in internationalen Fachzeitschriften dokumentieren diese Ergebnisse für die Fachwelt. Für einen ersten Eindruck von den aktuellen Themen der Forschung legen wir Ihnen diese Broschüre vor. Wenn Sie noch mehr über uns erfahren wollen, dann besuchen Sie uns doch im Internet unter <http://www.physik.uni-mainz.de>. Sie finden dort umfassende und detaillierte Darstellungen unserer Forschungsarbeit.

Über das Physikstudium in Mainz informiert der vom Fachbereich Physik herausgegebene Studienführer Physik & Meteorologie, den Sie ebenfalls im Internet finden oder über das Dekanat des Fachbereichs Physik (Staudinger Weg 7, 55099 Mainz) beziehen können.

Selbstverständlich engagieren sich alle am Institut tätigen Wissenschaftler nicht nur in der Forschung, sondern genau so für eine fundierte und praxisnahe Ausbildung der Studierenden. Schließlich sind Forschung und Lehre in der Physik eng miteinander verzahnt: Alle Studierenden arbeiten im letzten Studienjahr intensiv in einem Forschungsprojekt mit. Die dabei gewonnenen Resultate bilden dann den Kern ihrer Diplomarbeit - und nicht selten die Basis für eine darauf aufbauende Dissertation.

Diese intensive, teamorientierte Zusammenarbeit von Studierenden, Doktoranden, „Post-Docs“ und Professoren an der Front der Forschung ist eine wesentliche Besonderheit des Physikstudiums. Wegen der so gewonnenen praktischen Erfahrung sind unsere Absolventinnen und Absolventen auf dem Arbeitsmarkt überaus gesucht. Weit über das Fachgebiet hinaus finden sie interessante und lukrative Tätigkeitsfelder - überall dort, wo neben „know-how“ auch „know-why“ gefragt ist.



Eine besondere Würdigung erfuhren viele unserer Wissenschaftler darüber hinaus durch Forschungspreise, die ihnen verliehen wurden. So erhielten:

- K. Binder die Max-Planck-Medaille der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1993
- W. Heil den Röntgenpreis der Universität Gießen 1991 und gemeinsam mit E.W. Otten den Körber-Preis 1998
- K. Kleinknecht den Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1990
- G. Münzenberg den Röntgenpreis der Universität Gießen 1983, den Physikpreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 1984, den Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt 1996, die Goldmedaille der Comenius Universität Bratislava 1996 und die SUNAMCO Medaille der IUPAP Kommission C2 1998
- E.W. Otten den Gentner-Kastler-Preis 1987 und gemeinsam mit W. Heil den Körber-Preis 1998
- L. Schweikhard den Mattauch-Herzog-Förderpreis 1995 sowie den Rudolf-Kaiser-Preis 1999
- G. Werth den Helmholtz-Preis 1985

Auf vielen Feldern arbeiten wir eng zusammen mit Partnern aus den benachbarten Instituten der Universität, den beiden auf dem Uni-Campus ansässigen Max-Planck-Instituten und vielen weiteren Forschungsein-

richtungen in der näheren und fernerer Umgebung von Mainz - zum Beispiel der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt oder dem Europäischen Labor für Teilchenphysik (CERN) in Genf.

Gemeinsame Projekte verbinden uns mit vielen physikalischen Instituten in aller Welt und führen zu einem intensiven Austausch von Ideen - nicht nur per Internet sondern auch durch vielfältige persönliche Begegnungen: Jährlich kommen etwa 50 Wissenschaftler aus allen Teilen der Welt für einige Wochen oder Monate in unser Institut, um mit uns zu arbeiten und neue Projekte vorzubereiten.



Modernste Technik als Basis für wettbewerbsfähige Forschung: Hier eine CNC-gesteuerte Drehmaschine in unserer GE „Mechanische Werkstatt“

## Strukturen

**D**as Institut für Physik bildet zusammen mit dem Institut für Kernphysik und dem Institut für Physik der Atmosphäre den Fachbereich Physik der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz. Es ist untergliedert in eine Reihe weitgehend eigenständiger Wissenschaftlicher Arbeitsgruppen („WA“). Einige dieser WA sind eng verzahnt mit den an der Universität bestehenden fachbereichsübergreifenden Forschungszentren, insbesondere dem Materialwissenschaftlichen Forschungszentrum (MWFZ) und dem Zentrum für Umweltforschung (ZfU).



Diese Herren beliefern uns mit flüssigem Helium; sie ermöglichen damit Experimente in der Nähe des absoluten Temperaturnullpunkts!

Gemeinsame Einrichtungen sorgen für die von den wissenschaftlichen Arbeitsgruppen benötigte Infrastruktur. Das Dienstleistungsangebot dieser „GE“ reicht von der Etatverwaltung für Forschungsprojekte über die Präzisionsfertigung von Apparaturen bis hin zu Konzeption und Bereitstellung eines komplexen Rechnernetzwerks.

Die dem Institut angehörenden Professoren bilden gemeinsam das Kollegium, in dem alle das Institut betreffenden Entscheidungen getroffen werden. Ein gewählter Institutsvorsitzender leitet die laufenden Geschäfte; er wird darin durch verschiedene Kommissionen und die Geschäftsführung des Institutes unterstützt.

## Menschen

**B**ei uns arbeiten derzeit etwa 180 Physikerinnen und Physiker. Rund 40 von ihnen haben eine feste Stelle inne, davon 22 als Professoren. Die übrigen Wissenschaftler stehen in einem zeitlich befristeten Dienstverhältnis, das ihnen neben der Mitarbeit an einem Forschungsprojekt die weitere Qualifizierung (Promotion, Habilitation) ermöglicht. Hinzu kommen rund 60 Studierende, die sich im Rahmen ihrer Diplom- oder Staatsexamensarbeit in unsere Forschungsprojekte einbringen.

Rund 90 nicht-wissenschaftliche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sorgen dafür, dass die wissenschaftliche Arbeit auf einer soliden Infrastruktur aufbauen kann. Etwa 20 davon gehören zum technischen bzw. administrativen Personal der einzelnen Wissenschaft-

lichen Arbeitsgruppen; die übrigen sind in einer der Gemeinsamen Einrichtungen tätig, davon allein 34 in der Mechanischen Werkstatt.

Eingeschlossen in dieser Zahl sind auch die derzeit 14 Auszubildenden im Feinmechaniker-Handwerk, die in einer eigenständigen Lehrwerkstatt von einem Meister und einem Lehrgesellen betreut werden. Außerdem werden in unserer GE Elektroniklabor Kommunikationselektroniker ausgebildet.

Die Vielfalt der wissenschaftlichen Arbeit spiegelt sich nicht zuletzt in der Vielzahl der unterschiedlichen technischen Berufe wider, die in unserem Institut vertreten sind. Viele unserer Handwerker, Techniker und Ingenieure haben sich durch ihre Tätigkeit Spezialkenntnisse erarbeitet, die teilweise weit über das hinaus gehen, was üblicherweise dem jeweiligen Berufsbild zugerechnet wird. Insbesondere unseren experimentell arbeitenden Gruppen schaffen Fachwissen und Erfahrung dieser Experten eine solide Basis für ihre erfolgreiche und international anerkannte Arbeit.

Auch die mit Verwaltungsaufgaben befassten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben ihren Anteil am Erfolg unserer Arbeit: Ob sie das Arbeitsgruppensekretariat führen oder den Überblick über die Etats der einzelnen Projekte behalten: Sie sorgen dafür, dass die Wissenschaftler sich nicht zu sehr mit der allgegenwärtigen Bürokratie plagen müssen und sich auf ihre Arbeit konzentrieren können.

# EXPERIMENTELLE TEILCHEN- UND ATOMPHYSIK

*Professoren K. Kleinknecht, K. Jakobs, L. Köpke, H.-G. Sander,  
G. Werth sowie Dr. R. Ley, Dr. G. Quast, Dr. B. Renk, Dr. U.  
Schäfer, Dr. R. Wanke, Dr. Ch. Zeitnitz*

*Beteiligte Wissenschaftler*

**D**ie Arbeitsgruppe Experimentelle Teilchen und Atomphysik (ETAP) hat fünf Arbeitsschwerpunkte. Wir sind wesentlich an zwei großen Experimenten am europäischen Forschungszentrum für Elementarteilchen CERN in Genf beteiligt. Eines dieser Experimente konnte die Natur der Verletzung einer fundamentalen Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie aufklären, das andere überprüft die elektroschwache Wechselwirkung mit hoher Präzision. Ein Experiment zum Nachweis kosmischer Neutrinos und der Aufbau eines großen Experiments für Proton-Proton Stöße bei höchsten Energien kamen in den letzten Jahren hinzu. Die Spektroskopie an einzelnen Atomen bildet einen weiteren Schwerpunkt.

## Symmetrien

Nach heutiger Vorstellung entstand beim Urknall vor ca. 15 Milliarden Jahren gleich viel Materie wie Antimaterie. Nahezu alle Teilchen zerstrahlten mit ihren Antiteilchen in Photon- und Neutrino-paare. Ein überzähliges Milliardstel der Teilchen überlebte und bildet jetzt die Materie des Weltraums.

Möglich wurde dieser glückliche Umstand durch die Verletzung der sogenannten CP-Symmetrie: Prozesse verändern sich, wenn sie spiegelverkehrt betrachtet werden und gleichzeitig alle Teilchen durch Antiteilchen ersetzt werden. Eine Verletzung dieser vermeintlich grundlegenden Symmetrie wurde

1964 überraschend im Zerfall „seltsamer“ Teilchen, sog. KL-Mesonen, gefunden. Allerdings tritt der Effekt im Mittel nur einmal in 500 Zerfällen auf.

Das „Standardmodell“ der Elementarteilchen beschreibt die elektromagnetische, schwache und starke Kraft durch den Austausch von Teilchen. Kann dieses Modell auch





Ein großer Detektor zur Messung von Teilchenenergien im Aufbau. Im NA48 Experiment wird der Detektor mit über 20 Tonnen des Edelgases Krypton aufgefüllt, in flüssiger Form bei -153 Grad

## Kosmische Teilchenphysik

die Verletzung der CP-Symmetrie in allen Details beschreiben? Oder müssen andere Kräfte oder Theorien herangezogen werden? Wir wissen, daß eine kleine Beimischung des „falschen“ CP-Zustands die beobachtete Symmetriebrechung fast vollständig erklärt.

Interessanter jedoch ist eine winzige, nochmals 500-fach schwächere Symmetrieverletzung, die „direkt“ in den Zerfällen stattfindet. Dieser vom Standardmodell vorhergesagte Effekt wurde erstmals 1988 vom NA31-Experiment mit Mainzer Beteiligung am CERN gefunden. Das Ergebnis konnte 11 Jahre später nach mehrjährigen, experimentell sehr anspruchsvollen Messungen am CERN (NA48) und in den USA (KTeV) zweifelsfrei bestätigt werden.

Wir erforschen schon seit vielen Jahren CP-verletzende und extrem seltene Zerfälle der K-Mesonen. Seit dem Abschluss des Experimentaufbaus sind wir maßgeblich an den Datenanalysen beteiligt. Unsere Doktoranden und Diplomanden überwachen und verbessern weiterhin mehrere Detektoren, sowie die Rechnerfarmen zum Aufnehmen und Verarbeiten von 100.000 Gigabyte Daten im Jahr.

**D**as sich rasch entwickelnde Gebiet der Teilchenastrophysik verbindet Astronomie mit Teilchenphysik und Kosmologie. Es erweitert die klassische Beobachtung des Sternenhimmels im sichtbaren Bereich des Lichts: Hochenergetische

Photonen erlauben z.B. das Studium dramatischer Prozesse in „aktiven“ Galaxien, in deren Zentren massive schwarze Löcher Materie „aufsaugen“.

Der Nachweis kosmischer Strahlung, die unvorstellbar hohe Energien von mehr als  $10^{20}$  Elektronenvolt auf bisher unverstandene Weise erreicht, kann die Untersuchungen ergänzen. Ideal sind hier die flüchtigen Neutrinos, die - elektrisch neutral und nur schwach wechselwirkend - einen unbehinderten Blick auf kosmische Beschleuniger erlauben. Die sehr geringe Reaktionswahrscheinlichkeit der Neutrinos kann nur durch ein sehr großes Nachweisvolumen ausgeglichen werden.

Der weltgrößte Neutrinodetektor AMANDA (Antarctic Muon And Neutrino Detector Array) wurde im Jahr 2000 fertiggestellt. Er nimmt im Eis der Antarktis ein Volumen von rund 5 Millionen  $m^3$  ein. Einige wenige Neutrinos reagieren mit Atomkernen in der Nähe des Detektors und erzeugen Myonen und Elektronen, die im Eis Cherenkovlicht abstrahlen. Aufgrund der außergewöhnlichen Transparenz des Eises 1-2 km unter dem Südpol reichen 676 lichtempfindlichen Sensoren aus, um Neutrinos mit mehr als 50 Milliarden Elektronenvolt nachzuweisen. Die amerikanische Amundsen-Scott Südpolarstation bietet eine exzellente Infrastruktur für Arbeiten am Detektor, die im antarktischen Sommer von November bis Februar stattfinden können. Seit Mitte 1999 beteiligt sich unsere Gruppe an dieser internationalen Kollaboration. Wir konzentrieren uns zur Zeit auf teilchenphysikalische Aspekte, wie die Untersuchung von Neutrinoeigenschaften.

## Standardmodell und Experiment

**D**er 27 km lange Elektron-Positron Speicherring LEP am CERN ist seit Sommer 1989 in Betrieb. Die ersten Jahre dienten der Präzisionsuntersuchung der Zerfälle des Z-Teilchens, des schweren neutralen Vermittlers der elektroschwachen Kraft. Mit rund 20 Millionen registrierten Zerfällen konnten wir das Standardmodell der Elementarteilchen aufs Genaueste bestätigen. Unter anderem wurde gezeigt, daß es 12 elementare Teilchen gibt. Sie sind zusammengefaßt in 3 Familien, die sich nur durch die Massen unterscheiden. Auch haben wir gelernt, daß die starke Kraft, die z.B. für die Bindung von Protonen verantwortlich ist, mit zunehmender Energie abnimmt. Dieses Verhalten wird für eine gemeinsame Beschreibung aller Kräfte durch eine „große verallgemeinerte Theorie“ erwartet.

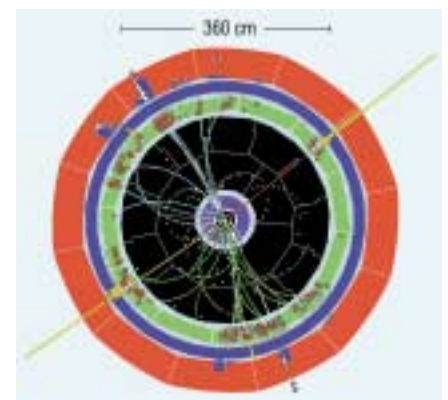
Die indirekte Vorhersage der Masse des schwersten Quarks „top“ aus Messungen am LEP wurde später durch direkte Messungen in den USA (Fermilab) bestätigt. In der ursprünglichen Form des Standardmodells der Elementarteilchen sind alle Teilchen masselos. Sie gewinnen eine Masse aus einem hypothetischen, alles durchdringenden Feld, das sich um die Teilchen „schart“. Ein neues Teilchen, das Higgs-Teilchen, entsteht in diesem Bild durch eine Art „Klumpung“ des Feldes. Auf ähnliche Weise wie das top-Quark sagen die LEP-Ergebnisse auch das Higgs-Teilchen und seine Masse vorher. Nach einem direkten Signal wird

intensiv gesucht. Seit dem Jahr 1996 stehen am LEP so hohe Energien zur Verfügung, daß positive und negative W-Teilchen in Paaren erzeugt werden. Diese Überträger der schwachen Kraft, die auch für radioaktive Zerfälle verantwortlich sind, wiegen ungefähr 80 mal soviel wie Protonen. Die präzise Bestimmung der W-Masse mit einer Genauigkeit von 0.04% ermöglicht wichtige Tests des Standardmodells.

Die hohe Kollisionsenergie am LEP-Speicherring erlaubt die Suche nach „neuen Teilchen“ in bislang unerforschten Massenbereichen. Besonderes Interesse besteht in Mainz an „supersymmetrischen“ Teilchen und ihren Zerfällen. In der derzeitigen Form des Standardmodells gibt es keine Symmetrie zwischen Elementarteilchen mit halbzahligem Eigendrehimpuls (Fermionen) und Austauscheteilchen mit ganzzahligem Eigendrehimpuls (Bosonen). Viele Theoretiker sagen jedoch voraus, daß eine solche „Supersymmetrie“ existiert, die mit zusätzlichen supersymmetrischen Partnerpartikeln einhergeht. Zwar wurden diese bislang nicht entdeckt, jedoch sind die starken Einschränkungen auf mögliche Massen schon jetzt sehr interessant! Untersuchungen zu Eigenschaften der W-Teilchen und Mesonen mit schweren Quarks sind weitere Schwerpunkte unserer Arbeit.



AMANDA am Südpol



Das Ergebnis einer Teilchenkollision im ALEPH Detektor: Im Zentrum vernichten sich positive und negative Elektronen und bilden neue Teilchen, die bündelförmig nach außen fliegen

## Was ist Masse?

**A**m CERN Forschungszentrum wird derzeit ein neuer Beschleuniger - der Large Hadron Collider (LHC) - aufgebaut. Ab dem Jahre 2005 soll dieser Protonenstöße bei einer enormen Schwerpunktsenergie von 14 Billionen Elektronenvolt ermöglichen. Zum Vergleich: Zur Erzeugung eines einzelnen Protons würde eine 14000 mal geringere Energie reichen! Gleichzeitig werden mehrere Großdetektoren konstruiert um diese Kollisionen in einem bislang unerforschten Energiebereich zu untersuchen.

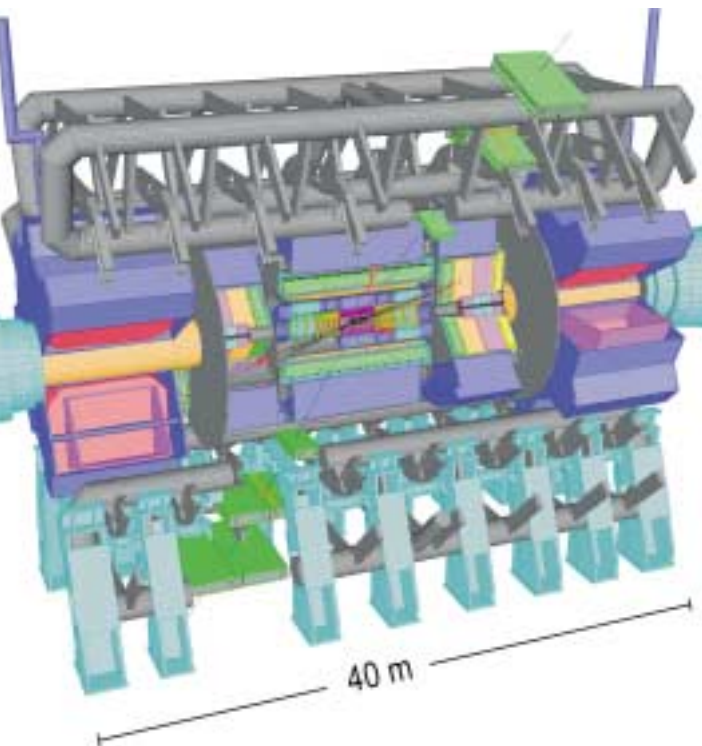
Der 7000 Tonnen schwere ATLAS Detektor mit einem Durchmesser von 22 m. Schalenförmig wird der Kollisionspunkt in der Mitte des Detektors von verschiedenen Nachweisgeräten umhüllt

Mit diesen Experimenten wollen wir fundamentale Fragen der Teilchenphysik beantworten, wie die nach dem Ursprung der Masse. Wie erwähnt, wird zur Erklärung ein „Higgs-Teilchen“ vorgeschlagen. Dessen Masse kann die Theorie zwar einschränken jedoch nicht exakt vorhersagen. Energie und Kollisionsrate am LHC-Speicherring sollten allerdings ausreichen, um den gesamten für die Higgs-Masse möglichen Bereich zu untersuchen. Dies gilt insbesondere dann, wenn sich die indirekte Massenvorhersage der LEP-Experimente bestätigt. Die hohe Energie des LHC erlaubt jedoch auch das Studium alternativer Szenarien, sollte das Higgs-Teilchen nicht gefunden werden.

Ebenso werden wir uns auf die Suche nach Erweiterungen des Standardmodells - und Überraschungen! - machen. Die Massen supersymmetrischer Partnerteilchen sollten z.B. niedrig genug für eine Entdeckung am LHC sein.

Wir beteiligen uns zusammen mit rund 1700 Physikern aus 35 Ländern am Aufbau des ATLAS-Experiments am LHC. Die Anforderungen an den Detektor und seine Ausleseelektronik sind extrem: 40 Millionen mal pro Sekunde stoßen die Protonen aufeinander und produzieren eine Vielzahl von Teilchen. In vielen Bereichen wird deshalb technologisches Neuland betreten, eine Herausforderung für Forscher und Industrie gleichermaßen.

Konkret sind wir am Bau eines Detektors zur Messung von Teilchenenergien beteiligt, der mit -184 Grad kaltem, flüssigem Argon als Nachweismedium betrieben wird. Unter anderem haben wir Geräte entwickelt, die extrem geringe Verunreinigungen des Argons durch Sauerstoff und andere elektronegative Gase genau bestimmen können. Ebenfalls entwickeln wir Elektronik zur Eichung des Detektors und zur extrem schnellen Auswahl von interessanten Teilchenreaktionen. Dies ist nur möglich mit speziellen integrierten Schaltkreisen, die wir in dazu eingerichteten Laborräumen entwerfen und testen. Ein weiteres Labor mit Vakuum- und Tieftemperaturtechnik dient dem Experimentieren mit Argon im flüssigen Zustand.



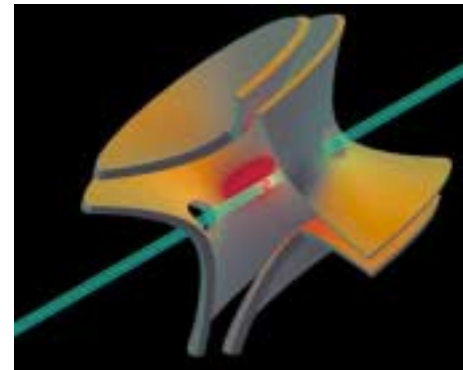
## Spektroskopie mit einzelnen Atomen

**G**egenstand der Atomphysik ist der Aufbau und die Struktur der Atome. Unser Wissen darüber erhalten wir vor allem durch die Beobachtung und genaue Vermessung von Übergängen zwischen verschiedenen Energiezuständen der Atome. Eine besonders große Präzision bei solchen Messungen erhält man, wenn das atomare Teilchen für lange Zeit frei von unerwünschten Wechselwirkungen mit der Umgebung beobachtet werden kann. Eine Möglichkeit dazu bieten sogenannte Ionenfallen, in denen geladene atomare Teilchen mit elektrischen und magnetischen Feldern im Vakuum aufgefangen und gespeichert werden können. Wir benutzen solche Fallen, um hochpräzise spektroskopische Messungen an verschiedenen Ionen durchzuführen. Beispiele sind die Bestimmung der Aufspaltung der Energieniveaus in Magnetfeldern, aus denen die elektronischen und nuklearen Dipolmomente der Ionen bestimmt werden können.

**E**in besonderes Beispiel bieten Messungen an Kohlenstoff, dem 5 Elektronen aus der Hülle entfernt wurden. Das einzige verbleibende Elektron bildet zusammen mit dem Kohlenstoff-Kern ein wasserstoffähnliches System, das sich mit der Theorie der Quanten-Elektrodynamik präzise berechnen lässt. Ein einzelnes Ion kann für mehrere Monate in einer Falle aufbewahrt und kontinuierlich detektiert werden. Ein eingestrahktes Mikrowellenfeld kann die Richtung des Drehimpulses des Elektrons

umkehren. Die Frequenz dieses Feldes kann mit einer Genauigkeit von einem Milliardstel bestimmt werden. Da das einzelne gebundene Elektron dieses Ions sich im extrem starken elektrischen Feld des Atomkerns befindet, kann durch Vergleich mit quantenelektrodynamischen Rechnungen ermittelt werden, ob unsere Modellvorstellungen auch unter solchen extremen Bedingungen noch gültig sind. Dies wird besonders interessant sein, wenn, wie geplant, die Messungen auf Systeme mit hoher Kernladungszahl wie  $U^{92+}$  ausgedehnt werden. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der GSI Darmstadt.

**B**estrahit man gespeicherte Ionen mit Laserlicht geeigneter Wellenlänge, so können sie auf tiefe Temperaturen abgekühlt werden, so daß sie kristallähnliche Strukturen bilden. Solche Kristalle werden von uns aus  $Ca^+$  - Ionen erzeugt. Die einzelnen Teilchen können mit Hilfe einer CCD-Kamera direkt beobachtet werden. Mit solchen ruhenden Ionen ist eine enorme Verbesserung von Atomuhren möglich, die für die Navigation sehr wichtig sind. Lineare Kristallstrukturen entlang der Achse eines Ionenkäfigs gelten als eine Möglichkeit, zukünftige „Quantencomputer“ zu entwickeln. Unsere Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit verschiedenen Aspekten dieser Entwicklung. Ionenfallen erweisen sich als sehr vielseitige Instrumente, die innerhalb der Atomphysik sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung breite Verwendung finden.



Eine Ionenfalle, hier von einem Laserstrahl durchquert, dient zur Speicherung geladener Teilchen mit elektrischen und magnetischen Feldern



Mit Lasern gekühlte Kristalle aus einzelnen  $Ca^+$  Ionen in einer Ionenfalle, aufgenommen mit einer CCD-Kamera

# THEORETISCHE ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

*Beteiligte Wissenschaftler Professoren E.O. Alt, J.G. Körner, N.A. Papadopoulos, M. Reuter, F. Scheck und K. Schilcher sowie PD D. Kreimer und Dr.habil. H. Spiesberger.*

**D**ie Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe Theoretische Elementarteilchenphysik betreffen im weitesten Sinn die fundamentalen Wechselwirkungen der Natur und die Eigenschaften der Elementarteilchen.

## Die fundamentalen Wechselwirkungen

Nach allem, was wir heute wissen, werden die vier fundamentalen Kräfte in der Natur - die elektromagnetische, die schwache, die starke und die gravitative - durch Theorien beschrieben, die ein hohes Mass an Symmetrie besitzen (sogenannte Eichinvarianz). Trotz grosser Unterschiede in den experimentell zugänglichen Erscheinungsformen sind diese Theorien nach denselben oder ähnlichen allgemeinen Prinzipien aufgebaut.

Ausserdem tragen die ersten drei der fundamentalen Wechselwirkungen ausgeprägte geometrische Züge, die gewisse formale Ähnlichkeiten mit, aber auch deutliche Unterschiede zur Allgemeinen Relativitätstheorie, dem Prototyp einer geometrisch begründeten Theorie, haben. Für die elektromagnetische, die schwache und die starke Wechselwirkung ist es möglich, die zunächst klassisch formulierte Theorie in konsistenter Weise mit der Quantentheorie in Einklang zu bringen. Für die Gravitation ist dies aber bis heute nicht zufriedenstellend gelungen.

Obwohl die Theoretische Physik heute eine in vielfacher Hinsicht erfolgreiche Beschreibung der experimentell beobachtbaren Phänomene liefert



und auf vergleichsweise einfache Grundprinzipien zurückgeführt werden kann, sind eine Reihe von grundsätzlichen Fragen unbeantwortet:

A) Gibt es ein einheitliches geometrisches Prinzip, aus dem alle Wechselwirkungen folgen? Sind diese möglicherweise Teile einer einzigen vereinheitlichten Theorie? Zwingt ihre Quantennatur dazu, den geometrischen Rahmen der Eichtheorien, vielleicht sogar unter Einbeziehung der Gravitation, zu vergrößern? Gibt es weitere mathematische Strukturen, die sich hinter den etwas formalen Rechnungen der Quantenfeldtheorie verbergen?

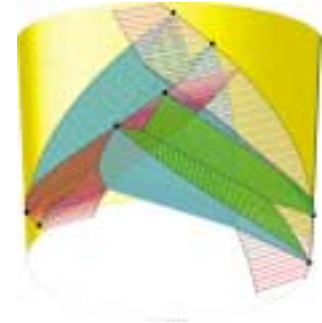


Der Stern (rot) ist ein Beispiel für ein sogenanntes Feynmandiagramm, das der Beschreibung bestimmter Korrekturterme bei der Berechnung von Elementarteilchenprozessen dient. Die Eigenschaften dieser Feynmandiagramme finden eine Entsprechung in der Struktur von Knoten, hier der Torusknoten (grün).

Mehrere Forschungsprojekte in unserer WA befassen sich mit Fragen aus diesem Themenkreis:

- Geometrische Methoden: Welche Konsequenzen hat die Erweiterung von Eichtheorien im Rahmen von nicht-kommutativer Geometrie? Gibt es allgemeine geometrische Strukturen, die der Quantenmechanik zugrunde liegen?
- Mathematische Strukturen: Welche Anwendungen haben höhere mathematische Strukturen (z.B. die sogenannte Hopf-Algebra, oder die Theorie von Knoten) in der Physik?
- Lassen sich Quantentheorie und Gravitation vereinigen und können dabei Methoden verwendet werden, die bei der Beschreibung der anderen Wechselwirkungen erfolgreich waren? Wie wirken sich Quanteneffekte auf die Struktur Schwarzer Löcher aus?

B) Genauso wichtig wie die Untersuchung der Struktur der reinen Eichtheorien ist die Erforschung der Bausteine der Materie, also der Quarks und Leptonen und deren spezifische Eigenschaften und Wechselwirkungen. So ist zum Beispiel die Bestimmung der Massen der Quarks, die nie als freie Teilchen auftreten, und von Neutrinos, deren Massen vermutlich sehr klein sind, von zentraler Bedeutung. Eine Schlüsselrolle spielt dabei das Verständnis von Zustandsmischungen, eine Eigenschaft von Elementarteilchen, die den spontanen Übergang zwischen verschiedenen Teilchensorten zur Folge hat. Dieses Phänomen tritt bei Quarks und wahr-



Geometrische Methoden zur Untersuchung schwarzer Löcher können manchmal zu überraschend ästhetischen Bildern führen, die der Veranschaulichung komplizierter mathematischer Eigenschaften dienen.

## Quarks und Leptonen

scheinlich bei Neutrinos auf und ist eng verknüpft mit den Masseneigenschaften der Teilchen. Konkrete Fragestellungen aus diesem Themenkreis, die in unserer WA untersucht werden, sind:

- Neutrinophysik: Wie können Massen und Zustandsmischungen verstanden werden und welche allgemeinen Strukturen sind mit neueren experimentellen Beobachtungen vereinbar, nach denen Neutrinos offenbar nicht masselos sind?
- Physik der Lepton-Familien und der schweren Quarks, sowie deren Bindungszustände: Welche Mechanismen führen dazu, dass fundamentale Symmetrien verletzt sind? Ein wichtiges Beispiel ist die CP-Verletzung, d.h. die Verletzung der Symmetrie unter Ladungskonjugation und Raumspiegelung.

C) Die Fragen nach den allgemeinen Grundprinzipien und den fundamentalen Strukturen können oft erst dann präzise formuliert werden, wenn die Theorie quantitativen Tests im Vergleich mit Experimenten hoher Präzision unterworfen wird. Voraussetzung dafür ist, dass die Theorie im Detail für konkrete Anwendungen ausgearbeitet wird. Hier steht die Berechnung von Messgrößen im Mittelpunkt - Wahrscheinlichkeiten für bestimmte Zerfallsprozesse von Teilchen oder die Häufigkeit, mit der verschiedene Streuprozesse auftreten. Die Vorhersagen der Theorie müssen mit einer durch die experimentellen Möglichkeiten vorgegebenen Genauigkeit berechnet werden. Dies ist im Rahmen von systematischen Näherungsverfahren, der Störungstheorie,

möglich. Einzelne Terme, die bei diesen Rechnungen auftreten, können in anschaulicher Weise mit Hilfe von sogenannten Feynmandiagrammen beschrieben werden. Terme höherer Ordnung der Störungstheorie, sogenannte Strahlungskorrekturen, sind dabei häufig unverzichtbar und die entsprechenden Berechnungen von komplizierten Feynmandiagrammen dementsprechend sehr aufwendig. Deshalb werden neben analytischen Methoden auch computergestützte algebraische Techniken erforderlich, die entwickelt und getestet werden müssen, bevor man sie auf konkrete Prozesse anwendet. Die WA befasst sich in diesem Bereich speziell mit

- Strahlungskorrekturen in der starken, schwachen und elektromagnetischen Wechselwirkung, nicht nur für Elementarteilchenprozesse bei hohen Energien, sondern auch für Anwendungen bei niedrigen Energien (zum Beispiel mit den speziellen Methoden der sogenannten chiralen Störungstheorie).

- Computeralgebraische Methoden für die Berechnung von Strahlungskorrekturen. Beispielsweise wurde XLoops, ein Programm zur automatischen Berechnung von Feynmandiagrammen von uns entwickelt.

D) Die Komplexität der Reaktionsdynamik nichtelementarer Teilchen (z.B. von Nukleonen, aber auch von Kernen und Atomen) macht es gegenwärtig unmöglich, direkt von den fundamentalen Wechselwirkungen zwischen den elementaren Bausteinen (Quarks, Leptonen) auszugehen. Stattdessen müssen

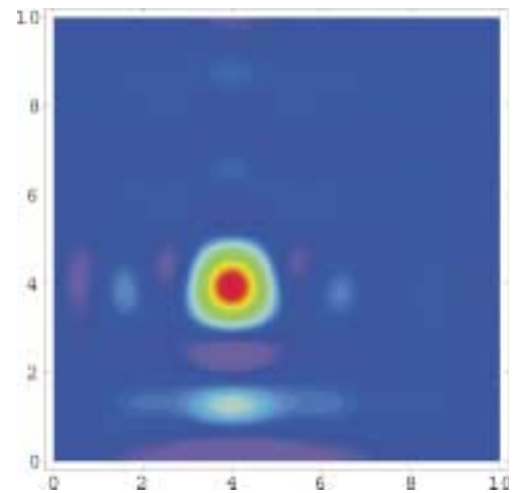
in einem Zwischenschritt durch Auswahl der „dominanten“ Freiheitsgrade zunächst die relevanten effektiven Wechselwirkungen identifiziert werden, welche dann zwischen den nichtelementaren Teilchen wirken. Dies bringt Modellvorstellungen solcher nichtelementarer Wechselwirkungen ins Spiel, deren Gültigkeit ihrerseits nur anhand von Untersuchungen konkreter Prozesse mit nichtelementaren Teilchen getestet werden kann. Konkrete Forschungsprojekte in diesem Zusammenhang sind:

- Quantentheorie der Streuung in Systemen mit zusammengesetzten Teilchen und die Berechnung fundamentaler Reaktionen der Kern- und Atomphysik und von astrophysikalisch relevanten Fusionsprozessen, unter Berücksichtigung verschiedener Modellannahmen für die nukleare Wechselwirkung.
- Weiterentwicklung der Theorie der Streuung zusammengesetzter Teilchen mittels Untersuchung der mathematischen Eigenschaften von Integralgleichungen zur Berechnung physikalischer Observabler.

**T**ypische Diplom- und Doktorarbeiten in der WA Theoretische Elementarteilchenphysik haben starke Bezüge einerseits zur aktuellen experimentellen Forschung in der Elementarteilchenphysik, andererseits zu neueren Entwicklungen der Mathematik und modernen Methoden der (algebraischen und numerischen) Datenverarbeitung. An die Phase der Einarbeitung in das gestellte Thema schliessen sich theoretische Analyse und formale Durchführung an,

oft gefolgt von numerischer Auswertung bis hin zu Resultaten, die mit experimentellen Messdaten verglichen werden können. Das ist „Phänomenologie“ in ihrem ursprünglichen Sinn: Verständnis der inneren Logik der Phänomene der Elementarteilchen, und ist weit mehr als numerisch-quantitative Reproduktion von Messergebnissen. Die Grenzen der Theoretischen Physik zur reinen Mathematik einerseits und zum Experiment andererseits sind fließend. Oft haben wichtige experimentelle Resultate Rätsel aufgeworfen, die mit konventionellen Techniken nicht zugänglich waren und die die Entwicklung und Einführung neuer mathematischer Methoden erforderlich machten.

**E**in Beispiel zeigt, dass sich dabei oft Anwendungen bei ganz anderen Fragestellungen ergeben: Das Problem, aus der Messung von Wirkungsquerschnitten die zugrundeliegende Wechselwirkung zu rekonstruieren, ist ein Beispiel für ein sogenanntes Inverses Problem in der Elementarteilchenphysik. Eine analoge Problemstellung findet man in der Impedanztomographie, bei der aus der Messung von Strom-Spannungs-Charakteristiken auf der Körperoberfläche die Leitfähigkeitsverteilung im Innern rekonstruiert werden kann. Damit lassen sich Tumore erkennen, die im Vergleich zu gesundem Gewebe eine erhöhte Leitfähigkeit aufweisen. Methoden aus der theoretischen Elementarteilchenphysik finden hier eine Anwendung in der Medizin.



Mit Hilfe der Impedanztomographie lassen sich Tumore durch Potentialmessungen an der Körperoberfläche lokalisieren. Die verschiedenfarbigen Bereiche im Bild stellen Gebiete mit verschiedener elektrischer Leitfähigkeit dar. Sie wurden aus Messungen am Rand eines quadratischen, mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes berechnet, in dem sich ein Probekörper befand.

# EXPERIMENTELLE ATOM- UND KERNPHYSIK

*Beteiligte Wissenschaftler* Professoren W. Heil, G. Huber, E.W. Otten, R. Neugart sowie Dr. J. Bonn, Dr. G. Passler, PD Dr. L. Schweikhard, HD Dr. Ch. Weinheimer, PD Dr. K. Wendt, Dr. O. Zimmer - Der Arbeitsgruppe EXAKT angegliedert ist die Gruppe von Univ. Prof. Dr. G. Münzenberg und Prof. Dr. P. Egelhof an der GSI-Darmstadt

**D**ie interdisziplinäre Arbeitsgruppe EXAKT beschäftigt sich mit einem breiten Spektrum **EX**perimenteller Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der **A**tom-, **K**ern- und **T**eilchenphysik, die den Bogen spannen zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung: von Untersuchungen zur Struktur der Atomkerne und laserspektroskopischer Spurenanalyse über Experimente zur schwachen Wechselwirkung und Neutrinophysik sowie dem Studium von Atomclustern, bis hin zu Entwicklungen auf dem Gebiet der medizinischen Diagnostik. Diese recht unterschiedlichen Forschungsschwerpunkte haben dabei viele gemeinsame experimentelle Wurzeln.

Die EXAKT pflegt eine intensive Zusammenarbeit mit Instituten und Arbeitsgruppen innerhalb und außerhalb der Universität.

Dies betrifft das Institut für Kernphysik mit dem Mainzer Mikrotron MAMI und das Institut für Kernchemie mit dem TRIGA-Forschungsreaktor, das Universitätsklinikum Mainz und die Max Planck-Institute vor Ort. Eine enge Zusammenarbeit besteht darüber hinaus mit der Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI in Darmstadt, dem europäischen Beschleunigerzentrum CERN in Genf, dem europäischen Forschungsreaktor ILL in Grenoble sowie dem Institut für Kernforschung in Dubna bei Moskau.



## Wie wiegt man ein Elementarteilchen?

**D**ie 3 Neutrinos sind die rätselhaftesten der 12 fundamentalen Elementarteilchen, aus denen unsere Welt aufgebaut ist. Es gibt im ganzen Universum eine ungeheure Anzahl von ihnen (ungefähr 1000 im Volumen einer Streichholzschachtel), aber sie hinterlassen kaum eine Spur. Nur eins von 10 Milliarden Neutrinos, die uns von der Sonne erreichen, reagiert mit der Materie bei Durchquerung der Erde. Die Bestimmung der Masse der Neutrinos ist gegenwärtig eine der großen experimentellen Herausforderungen in der Physik. Hielt man lange Zeit die Neutrinos für masselose Teilchen, so weiß man seit wenigen Jahren durch Experimente zur Neutrinooszillation mit solaren und atmosphärischen Neutrinos, dass sie vermutlich doch eine, wenn auch sehr kleine, Masse besitzen müssen. Wie groß diese Masse ist, kann man mit diesen Experimenten aber nicht herausfinden. Zur direkten Bestimmung der Masse des Elektroneneutrinos bietet sich der Zerfall des Tritium, eines radioaktiven Isotops des Wasserstoffs an, bei dem neben einem schnellen Elektron auch ein Neutrino entsteht, wobei die Neutrinomasse die Maximalenergie des Elektronenspektrums bestimmt.

Die große Bedeutung dieses Forschungsgebietes reicht von der Teilchenphysik bis zur Kosmologie. Die Energieskala und damit das experimentelle Umfeld dieser Messung liegen dagegen im Bereich der Atom- und Festkörperphysik. Um die Neutrinomasse

mit bisher nicht erreichter Genauigkeit zu bestimmen, wurde in Mainz ein neuartiges, hochempfindliches  $\beta$ -Spektrometer entwickelt. Nur ein Elektron aus einer Milliarde trägt zu dem für die Neutrinomasse interessanten Anteil des  $\beta$ -Spektrums bei, der genau spektroskopiert werden muß.

Die  $\beta$ -Zerfallselektronen aus einem 50 nm dünnen Tritium-Film werden im Feld eines supraleitenden Magneten in das Spektrometer geführt und zu einem parallelen Strahl geformt. Die Energieanalyse erfolgt durch ein elektrostatisches Gegenfeld, das von zylinderförmigen Elektroden im Ultrahochvakuum (s. Abb.) erzeugt wird. Damit läßt sich die Form des  $\beta$ -Spektrums und daraus die Obergrenze der Neutrinomasse mit einer bisher nicht erreichten Präzision bestimmen. Danach ist ein Neutrino mindestens 200.000 mal leichter als ein Elektron, das ansonsten leichteste der Elementarteilchen. In weiteren Experimenten wird versucht, die Empfindlichkeit nochmals zu erhöhen, um dadurch auf einen endlichen Meßwert zu stoßen.

**E**in Beispiel für die Vielfalt der Anwendungen einer ursprünglich grundlagenphysikalisch motivierten Entwicklung sind Experimente mit polarisiertem Helium-3, einem seltenen Isotop des Edelgases Helium. Im Gegensatz zum häufigen Helium-4 besitzt Helium-3 einen Kernspin, der mit einem magnetischen Dipol verbunden ist, wie ihn auch die Erde besitzt. Normalerweise sind die Kernspins der ein-



Helium lässt die Lunge „leuchten“



In-vivo-Aufnahme der menschlichen Lunge mit hyperpolarisiertem Helium-3, gewonnen in Zusammenarbeit mit der Radiologie Mainz



Blick auf die Gasentladungsröhren zum optischen Pumpen von Helium-3

zelen Atome völlig ungeordnet. Durch „optisches Pumpen“ mit polarisiertem Laserlicht gelingt es, die Kernspins und damit die Richtung ihrer magnetischen Momente wie Zinnsoldaten entlang eines magnetischen Führungsfeldes auszurichten. Selbst nach Abschalten der Lichtquelle bleibt diese so genannte Hyperpolarisation der Probe über mehrere Tage erhalten. Nur so ist es möglich, über das optische Pumpen größere Mengen zu akkumulieren und sie, aufbewahrt in speziellen Glasbehältern in einem magnetischen Haltefeld, vom Präparationslabor zur Anwendung zu transportieren.

Wegen ihrer geringen Dichte sind Gase in der Regel für bildgebende Verfahren wie Röntgenaufnahmen und Kernspintomographie ein denkbar schlechtes Medium. Mit hyperpolarisiertem Helium-3 ist es nun aber möglich, die Atemwege und die Lunge mit einem Kernspintomographen abzubilden.

Wird hyperpolarisiertes Helium-3 eingeatmet und unter einem Tomographen sichtbar gemacht, so erzeugt es Bilder von der Lunge in nie gekannter Detailtreue, auf denen sich die normale Funktion des Organs ebenso wie Störungen erkennen lassen (s. Abb.): Pathologische Veränderungen der Lunge werden weitaus früher als bisher erkannt, noch ehe der Betroffene Beschwerden hat. Auf diesem Wege lassen sich frühzeitig therapeu-

tische Maßnahmen einleiten bevor die Lunge unwiderruflich geschädigt ist. Von großem Vorteil ist dabei, dass die Bilder ohne jegliche Belastung durch Röntgenstrahlen oder Radioaktivität gewonnen werden.

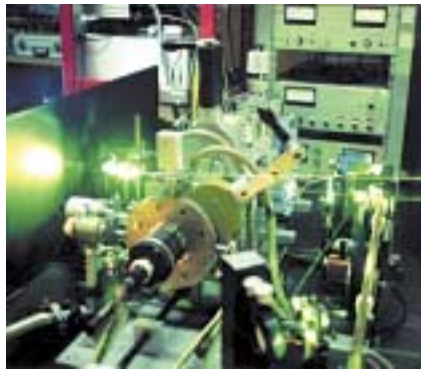
Das Projekt wird sich zu einem Routineverfahren in der Lungenfunktionsdiagnostik entwickeln. Kliniken können zentral mit hyperpolarisiertem Helium-3 Gas aus einem Hochleistungs-Polarisator versorgt werden, wie er in unserer Arbeitsgruppe entwickelt wurde.

## Seltene Isotope im Rampenlicht

**A**m online-Massenseparator ISOLDE (Isotope Separator On Line) am europäischen Beschleunigerzentrum CERN in Genf bildet die Laserspektroskopie in zahlreichen Experimenten einen Schwerpunkt. ISOLDE stellt Ionenstrahlen künstlich erzeugter radioaktiver Isotope mit Halbwertszeiten bis in den Millisekunden-Bereich zur Verfügung. Solche Messungen, die mit geringsten Mengen der durch Kernreaktionen erzeugten Isotope auskommen müssen, erfordern spektroskopische Methoden höchster Empfindlichkeit.

ISOLDE ist eine gemeinsame Einrichtung des CERN mit Forschergruppen aus verschiedenen europäischen Ländern, so dass alle Experimente in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt werden. Sie dienen einerseits der Erforschung der Struktur der Atomkerne, andererseits können die radioaktiven Atomkerne als empfindliche Sonden

zur Untersuchung ihrer Umgebung, etwa in einem Festkörper, verwendet werden. Präzise Messungen der optischen Spektrallinien radioaktiver Isotope geben Aufschluss über Größe und Gestalt der Atomkerne in Form ihrer elektromagnetischen Eigenschaften, die unter dem Stichwort „Kernmomente“ bekannt sind. Die Mainzer Experimente an über 300 radioaktiven Isotopen haben einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis der Kernstruktur geliefert. Neuerdings werden Laser auch eingesetzt, um die Ionenstrahlen an ISOLDE bereits element- und isotopenselektiv zu erzeugen.



**D**ie gleichen laserspektroskopischen Methoden, die ursprünglich für die kernphysikalischen Untersuchungen an künstlich und nur in geringsten Zahlen produzierten Nukliden entwickelt wurden, eignen sich auch hervorragend im Bereich der Spurenanalytik. Zum Beispiel lassen sich einige der für den Menschen besonders gefährlichen radioaktiven Nuklide, wie Plutonium, Technetium oder Strontium, mit dem herkömmlichen Nachweis über den radioaktiven Zerfall nicht mit ausreichender Empfindlichkeit und Selektivität bestimmen.

Resonante Laserionisations-Massenspektrometrie (RIMS) gewährleistet hier herausragende Eigenschaften bezüglich der Isobarenunterdrückung, der Isotopenselek-

tivität und der Gesamteffizienz, wie sie von konventionellen analytischen Verfahren nicht erreicht werden. Die anwendungsorientierten Forschungsarbeiten, die in enger

Zusammenarbeit mit dem Institut für Kernchemie vorangetrieben werden, umfassen dabei neben der hochauflösenden Laserspektroskopie auch die Entwicklung der zum Einsatz kommenden neuartigen Lasersysteme und die Optimierung unter-

schiedlichster Massenspektrometrierfahren für die jeweilige Anwendung. Das Spektrum aktueller analytischer Einsatzgebiete reicht von der Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt bis hin zu biomedizinischen Anwendungen, wobei die Untersuchung von Stoffwechselforgängen, etwa zur Entwicklung vorbeugender Therapien gegen Osteoporose, anhand kleinster Gaben radioaktiver Tracer im Vordergrund steht. Die Verfahren eignen sich aber auch zur Grundlagenforschung: So konnten an kleinsten Probenmengen die Ionisationsenergien der schweren Aktiniden nunmehr bis hin zum Element der Kernladungszahl  $Z = 99$ , Einsteinium, erstmalig bestimmt werden; andere grundlegende Fragestellungen betreffen den Bereich der Kosmochemie mit Untersuchungen an Meteoriten zur Bestimmung von Sterntemperaturen und die Radiodatierung von Fossilien im Zeitbereich um 100.000 Jahre vor unserer Zeit.



Hin und wieder sind eben vier Hände erforderlich...

## Atomare Cluster: zwischen Atom und Festkörper

**K**leine Teilchen aus wenigen gleichartigen Atomen werden „Cluster“ genannt. Ein typischer Vertreter ist beispielsweise  $\text{Au}_8$ , ein kleines Gold „Nugget“ aus 8 Atomen. Cluster gehören aufgrund ihrer geringen Ausdehnung von weniger als einem millionstel Millimeter noch zur Nanowelt, zeigen aber teilweise trotzdem schon Eigenschaften ausgedehnter Festkörper, obwohl sie viele Größenordnungen kleiner sind. Damit bilden Cluster das Bindeglied zwischen der Atomphysik und dem Bereich der makroskopischen Materie.

Die noch junge Clusterforschung beschäftigt sich insbesondere mit der Frage, wie sich die Eigenschaften eines Clusters verändern, wenn man einzelne Atome wegnimmt oder hinzufügt. Gerade für sehr kleine Cluster kann dies große Auswirkungen haben, die die Eigenschaften des Teilchens völlig verändern. Durch diese Variation der Clustergröße ergeben sich faszinierende Einblicke in kleinste Strukturen.

Beim Mainzer Clusterexperiment werden die Nanoteilchen durch Laserbeschuss eines Metalldrahtes erzeugt und in einer Ionenfalle gespeichert. Mit diesem vielseitigen Instrument können sie im Vakuum in der Schwebe gehalten werden. Die berührungslose Speicherung ermöglicht eine Vielzahl von Experimenten wie z.B. chemische Reaktionen oder den Beschuss mit Elektronen und Laserstrahlen. Die dabei beobachteten Reaktionen erlauben Rückschlüsse auf die Struktur und Eigenschaften der neuartigen Teilchen.



Die Clusterfalle

# PHYSIK KONDENSIRTER MATERIE

*Professoren H. Adrian, K. Binder, P. van Dongen, H.-J. Elmers, Th. Palberg, R. Schilling, G. Schönhense sowie Dr. M. Huth, Dr. G. Jakob, HD Dr. W. Kob, PD Dr. A. Latz, Dr. M. Letz, Dr. J.C. Martínez, PD Dr. M. Müller, Dr. M. Müser, HD Dr. R. Noack, Dr. A. Oelsner, PD Dr. W. Paul, Dr. Ch. Sinn, Dr. H. Wiechert, PD Dr. L. Wiehl, Dr. Ch. Ziethen*

*Beteiligte Wissenschaftler*

**D**ie Arbeitskreise der Physik Kondensierter Materie untersuchen mit Methoden der Computersimulation, mathematisch-analytischen Methoden und einem breiten Spektrum von Experimenten die Eigenschaften von Gläsern, weicher Materie und kristallinen Festkörpern mit starken elektronischen Korrelationen. Beispiele für die untersuchten Materialien sind  $\text{SiO}_2$ -Gläser, Polymere, Kolloide, Hochtemperatursupraleiter, Magnetische Materialien, Ferroelektrika und Schwere-Fermionen-Systeme.

Kondensierte Materie: das sind alle Flüssigkeiten und Festkörper harter und weicher, geordneter und ungeordneter Materialien unserer natürlichen und technischen Umgebung. Erst das Zusammenwirken vieler Atome bewirkt die faszinierende Vielfalt ihrer Eigenschaften. Es entscheidet darüber, ob kristalline Ordnung oder amorphe Strukturen, Ferro- oder Antiferromagnetismus, elektrisch nichtleitende, metallisch leitende oder supraleitende Materialien vorliegen. In diesem sehr spannenden Gebiet wird die Forschung einerseits von der Neugier und dem Wunsch angetrieben, die Eigenschaften der Materie ausgehend von der mikroskopischen, atomaren Struktur zu erklären

und zu verstehen. Zum Anderen sind viele der genannten Phänomene auch interessant für neue Anwendungen und Produkte. In den letzten Jahren wurden in der Physik kondensierter Materie viele neue Phänomene wie Integraler und Fraktionaler Quanten-Hall-Effekt, Hochtemperatursupraleitung, Elektronenlokalisierung durch Unordnung,



P. van Dongen, H.-J. Elmers, R. Schilling, H. Adrian  
K. Binder, G. Schönhense, T. Palberg



Schwere-Fermionen-Systeme und Riesen-Magnetowiderstandseffekte entdeckt, die zum Teil mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden. Auch bei den ungeordneten Materialien gab es aufregende neue Entdeckungen und technologische Entwicklungen. Dies wird offenbar durch die Vielfalt neuer „maßgeschneiderter“ Kunststoffe, Gele und Kolloide oder die Beherrschung der Herstellung riesiger, in einem Stück gegossener Glaskörper für die Spiegel astronomischer Teleskope.

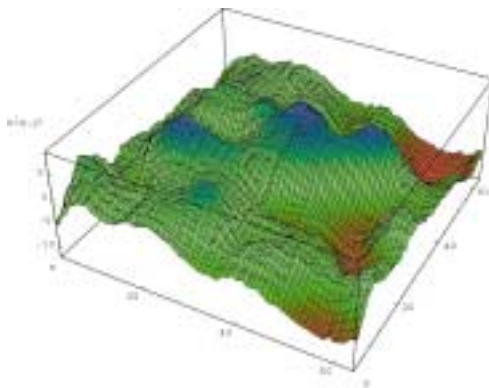
Wenige Entwicklungen haben die Welt so verändert wie die moderne Informatik- und Kommunikationstechnologie. Ohne Festkörperphysik wäre die Erfindung des Transistors und die darauf aufbauende Computertechnologie kaum denkbar gewesen. Überall hatten Physiker, die über kondensierte Materie forschten, die Hand im Spiel, nicht nur was die Silizium-Chips oder die Flüssigkristall-TFT-Flachbildschirme der Laptops betrifft. Spezielle Kunststoffe erlauben praktische Tastaturen, Gehäuse, CD's, und bei den Speicherplatten, Laufwerken, etc. geht erst recht ein breites Spektrum von Festkörpertechnologien ein. Deshalb ist ein großer Teil der in der Industrie tätigen Physiker mit Fragen der Festkörperphysik und Materialforschung beschäftigt.

In den Mainzer Kondensierte Materie-Gruppen stehen zwei dieser hochinteressanten Themenkreise im Vordergrund. Dabei sind die Fortschritte in beiden Bereichen nur durch das enge und direkte Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment möglich. Fragen nach der atomistischen Struktur und der Dynamik von Flüssigkeiten und Festkörpern ohne einfache kristalline Ordnung (Gläser, Polymere, Kolloide) werden

von den Arbeitskreisen Binder, Palberg und Schilling untersucht. Dagegen untersuchen die Arbeitskreise Adrian, van Dongen, Elmers und Schönhense Materialien mit ungewöhnlichen elektronischen Eigenschaften, die durch starke elektronische Korrelationen hervorgerufen werden. Diese Materialien (Hochtemperatursupraleiter, Materialien mit magnetischer Ordnung oder einem Metall-Isolator-Übergang, Schwere-Fermionen Systeme) bieten zahlreiche ungelöste und fundamentale Fragestellungen, haben aber auch großes Anwendungspotenzial.

## Gläser und weiche Materie

**M**it Gläsern und weicher Materie haben wir täglichen Umgang, ohne uns näher darum zu kümmern, wie sie entstehen, „von innen“ aussehen und welche Bewegungen ihre Bestandteile ausführen. Es genügt, wenn wir scharf durch unsere Brille auf unseren LCD-Bildschirm sehen oder ein Dispersionslack sich nicht absetzt, sondern gleichmäßig verteilen lässt und gut deckt. Wissenschaftlich betrachtet und das heißt eben auch auf der Ebene der Moleküle sind Gläser eingefrorene Flüssigkeiten ohne kristalline Ordnung, und mit „weicher“ Materie bezeichnet man Stoffe, die zwar Flüssigkeiten sind, aber trotzdem Ordnungszustände haben können. Typische Substanzen sind Wandfarbe, Polymere, Flüssigkristalle oder auch Lipidfilme. Die dabei auftretenden anwendungsbezogenen Fragestellungen stellen aber auch grundlegende Probleme der „Statistischen Physik“ dar. In den Arbeitskreisen der Mainzer „soft matter“-Gruppe untersuchen wir der-



Topografie einer Polymer A-Polymer B-Grenzfläche

artige Systeme sowohl theoretisch als auch experimentell, wobei die Ergebnisse der einen Seite jeweils die andere ergänzen.

### Computer simulieren Experimente

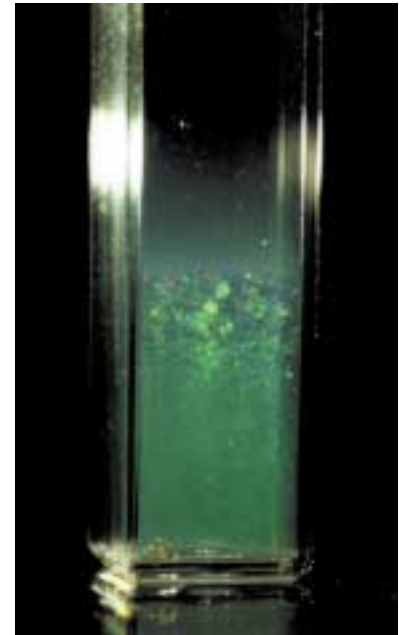
**A**usgangspunkt der theoretischen Untersuchungen sind klassische Vielteilchensysteme wie Polymere oder harte Ellipsoide, deren statische und dynamische Eigenschaften durch Computersimulation und mit analytischen Methoden der Flüssigkeitstheorie berechnet werden. Da die Simulation im Laufe der Zeit sehr viele mikroskopische Systemzustände (z.B. Koordinaten und Impulse) generiert, beleuchtet sie Zusammenhänge zwischen Struktur und Eigenschaften solcher Systeme, wie sie oft weder dem Experiment noch der analytischen Theorie zugänglich sind. Durch geschickte Auswertung der überwältigenden Fülle an Informationen werden die wesentlichen Effekte herauspräpariert und mit makroskopischen Größen in Zusammenhang gebracht. Zum Beispiel interessiert man sich bei der Simulation einer Grenzfläche zwischen zwei koexistierenden Phasen verschiedener Konzentration einer binären (A,B)-Mischung nicht für die lokalen Konzentrationsschwankungen abseits der Grenzfläche.

Durch geeignete lokale Mittelung können alle weniger interessanten Fluktuationen eliminiert und die Grenzfläche in Reinkultur studiert werden. So gelingt es, Experimente an Phasengrenzflächen, wie sie auch am benachbarten MPI für Polymerforschung durchgeführt werden, richtig zu verstehen.

### Auch Kolloide kondensieren

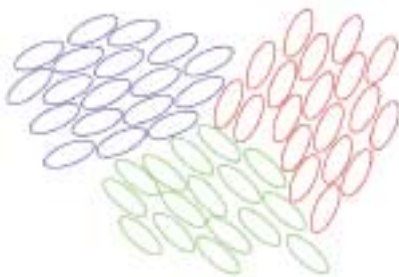
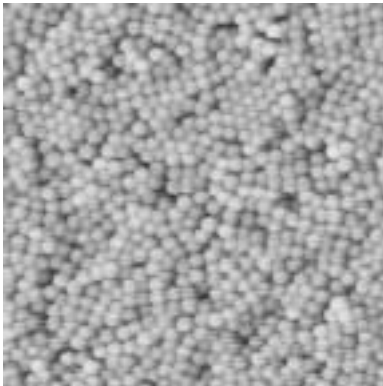
**F**lüssigkeiten mit noch größeren, supra-molekularen Bestandteilen, sogenannte kolloidale Suspensionen, werden von uns auch experimentell untersucht. Diese Schwebstoffteilchen interessieren zunächst unter Anwendungsaspekten. So studieren wir die innere Struktur von aufgetrockneter Wandfarbe mittels Kraftmikroskopie. Im Vordergrund steht jedoch das grundlegende Interesse an der Möglichkeit einer „experimentellen Simulation“ von Festkörpern. Die kugelförmigen Teilchen verhalten sich dabei unter vielen Gesichtspunkten wie 1000-fach vergrößerte Atome. Statt Röntgenbeugung führen wir Streuexperimente mit Laser-Licht durch, dessen Wellenlänge mit Teilchengröße und -abstand ziemlich gut übereinstimmt. Durch ihre Reibung am Lösungsmittel sind die Teilchen langsam genug, um ihre Bewegung auch direkt zu verfolgen. Die Weiterentwicklung optischer Methoden ist hierfür eine stets aktuelle Aufgabe. Analog zur Verfestigung von Metallschmelzen bei Temperaturenminderung oder Druckerhöhung wird hier bei Erhöhung der Partikelkonzentration (in der Abb. durch Sedimentation) Kristallisation beobachtet.

**A**uch kolloidale Gläser aus sphärischen und asphärischen Teilchen können so erzeugt und beobachtet werden, wenn es gelingt, die Kristallisation etwa durch Beimischung von Teilchen anderer Größe zu unterdrücken. Die generelle Frage, wie unterkühlte Flüssigkeiten glasartig einfrieren ist ein „Grand Challenge“ Problem



Sedimentierte Suspension mit grob- und nanokristalliner Morphologie

Glas – für Theoretiker „undurchsichtig“?



Gläser unterschiedlicher Struktur:  
Oben: Durch Trocknung einer Suspension hergestelltes Glas aus harten Kolloidkugeln;  
Unten: Domänen eines Glases aus harten Ellipsoiden

der Festkörperphysik. An einer Vielzahl von Modellsystemen wird sie im Sonderforschungsbereich 262 „Glaszustand und Glasübergang nichtmetallischer amorpher Materialien“ auf breiter Front untersucht.

Die zugehörige Theorie des Glasübergangs steht im Vordergrund analytischer Untersuchungen. Die zu Grunde liegenden Gleichungen, deren Lösung z.B. die gemittelte korrelierte Teilchenbewegung liefert, basieren auf einer mikroskopischen Berücksichtigung der Wechselwirkungen. Sie erlauben das Studium folgender Probleme: Warum erstarrt eine unterkühlte Flüssigkeit plötzlich, ohne eine offensichtliche (kristalline) Ordnung auszubilden? Für ein System harter Ellipsoide demonstriert die Abbildung einen hieraus resultierenden neuen Glaszustand. Auf einer großen Längenskala sind Translationen und Orientierungen glasartig in Form von Domänenmustern eingefroren, während in jeder Domäne eine sogenannte nematische Ordnung vorliegt. Ferner, wie lässt sich die dramatische Verlangsamung der Dynamik in der unterkühlten Flüssigkeit von der Picosekunden-Skala zur Stunden-Skala mathematisch beschreiben? Und wie hängt dies von der molekularen Natur ab? Eine ebenso theoretisch und praktisch wichtige Frage ist, warum ein Glas altert und nicht wie ein Kristall zeitlich konstant bleibt. Weitere analytische Untersuchungen befassen sich speziell mit dem Tieftemperaturverhalten von Gläsern, insbesondere mit der statistischen Physik von Systemen mit anharmonischen Wechselwirkungen und der Existenz und den Eigenschaften nichtlinearer Anregungen. Dabei können lokale Schwingungen klassisch erfasst werden, während Tunnelsysteme eine quantenmechanische

Behandlung erfordern. Die gewonnenen Erkenntnisse erlauben es, die Ergebnisse von Experimenten und Simulationen besser zu interpretieren, und werfen Fragen auf, die zu neuen Experimenten und Simulationen anregen.

Unsere Simulationen wiederum geben konkreten Aufschluss darüber, wie Prozesse auf atomistischer Skala ablaufen, z.B. die Diffusion in einer Quarzglasschmelze ( $\text{SiO}_2$ ). Das Netzwerk kovalenter Bindungen zwischen den Atomen wird lokal aufgeschmolzen, und dieser Defekt in der Zahl benachbarter Sauerstoffatome „wandert“ von einem Siliziumatom zum nächsten. Die Zahl der mobilen lokalen Defekte nimmt dabei mit fallender Temperatur drastisch ab. Auch hier verbinden sich wichtige Fragestellungen der Grundlagenforschung mit konkreten Problemen von Industriebetrieben, hier der SCHOTT Glaswerke, die dafür auch Forschungsgelder geben.

## Elektronisch korrelierte Materie

In den letzten Jahren wurden zahlreiche neue Materialien mit faszinierenden Eigenschaften entdeckt, die auch für neuartige Anwendungen bedeutsam sind. Man denke nur an die Hochtemperatursupraleitung und an die modernen Materialien mit riesigen Magnetowiderstandseffekten, die zum Teil schon in Produkten Verwendung finden. Hier steht das Verständnis der elektronischen Eigenschaften der Materialien, die durch große Korrelationseffekte in der Elektronenbewegung beherrscht werden, im Vordergrund. So gilt z.B. die mikroskopi-

sche Erklärung der Hochtemperatursupraleiter gegenwärtig als eine der größten Herausforderungen der Festkörperphysik.

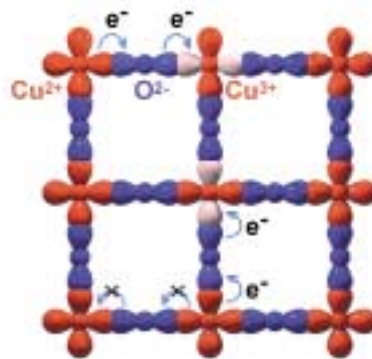
### Versteht man korrelierte Elektronen?

**M**it theoretischen Methoden werden Korrelationseffekte aufgrund der Elektron-Elektron-Wechselwirkung in den genannten Materialien untersucht. Weitere physikalische Phänomene, die durch Korrelationseffekte beherrscht werden, sind der Magnetismus, Metall-Isolator-Übergänge, Schwere-Fermionen-Systeme, Ladungsordnung, Phasentrennung und Unordnungseffekte. Hiervon ist der Ferromagnetismus der Menschheit schon seit Jahrtausenden bekannt. Der Kompaß war vermutlich schon im 26. Jahrhundert vor Christus im alten China bekannt, und die Griechen kannten bereits 800 vor Christus die anziehende Wirkung von Magnetit, einem Eisenoxid, das in der Provinz Magnesia in Thessalien abgebaut wurde. Spontaner Magnetismus ist ein kollektiver Effekt, der zurückzuführen ist auf die elektrostatische Coulomb-Abstoßung zwischen Elektronen. Es ist eine der großen Herausforderungen zu erklären, wie der Magnetismus mit der Beweglichkeit der Elektronen verträglich ist. Die Coulomb-Wechselwirkung kann auch viele andere interessante Phänomene zur Folge haben. So hat Sir Rudolf Peierls sie schon 1937 zur Erklärung von Metall-Isolator-Übergängen in nicht vollständig gefüllten Bändern angeführt. Sie ist außerdem die treibende Kraft hinter dem fraktionalen Quanten-Hall-Effekt und den

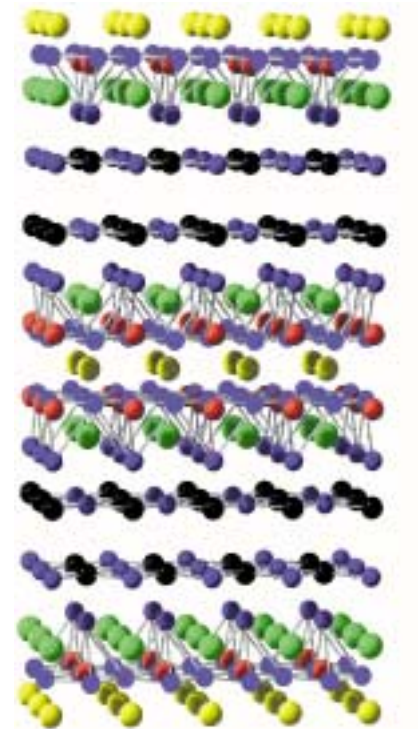
Schwere-Fermionen-Systemen. Zur Untersuchung der Effekte der Elektron-Elektron-Wechselwirkung wird die Quantentheorie von Vielteilchensystemen angewandt. Manche Fragestellungen lassen sich mit mathematischer Analyse beantworten. Viele Fragen können jedoch nur mit Hilfe avancierter numerischer Methoden untersucht werden, wofür wir die Quanten-Monte-Carlo-Methode und die Dichtematrix-Renormierungsgruppenmethode einsetzen.

### Schichten & Oberflächen mit Funktion

**E**xperimentelle Arbeitsgruppen erforschen die elektronischen Eigenschaften von Hochtemperatursupraleitern, Schwere-Fermionen-Systemen, Magneten und Ferroelektrika. Sie konzentrieren sich



Supraleitung findet in den Kupfer-Sauerstoffschichten durch korrelierte Elektronenbewegung statt



● Bi ● Sr ● Ca  
● Cu ● O

Hoch-Tc-Supraleiter bilden komplizierte Schichtgitterstrukturen



MBE-Anlage zur Präparation dünner metallischer Schichten

dabei vorwiegend auf die Präparation und die Eigenschaften dünner Schichten und Oberflächen, die verschiedene Vorteile bieten. Zum einen lassen sich auf geeigneten Unterlagen Schichten mit einer Abfolge von Atomlagen herstellen, die es so in der Natur nicht gibt. Zum anderen kann man verschiedene Materialien aufeinander in Form weniger Atomlagen dünner Einzelschichten aufwachsen. Die dadurch erhaltenen Festkörper

nennt man bei geordneter Struktur Übergitter, die oft interessante und neuartige Eigenschaften haben.

## Supraleitung eliminiert Verluste

Supraleiter sind faszinierend: Bei Abkühlung unter eine kritische Temperatur  $T_c$  verschwindet der elektrische Widerstand und Permanentmagnete schweben über ihnen. Aufbauend auf diesen Eigenschaften, die auf einem neuen Quantenzustand der Elektronen beruhen, versucht man verlustlose Stromkabel, ultrasensitive Sensoren und Hochfrequenzbauelemente zu entwickeln. Inzwischen sind Hochtemperatursupraleiter mit  $T_c$ -Werten bis zu 134 K bekannt. Diese Verbindungen enthalten alle  $(\text{CuO}_2)$ -Ebenen und noch weiß niemand, warum gerade diese „Cuprate“ supraleitend sind. Wir konnten mit unseren Experimenten zur Aufklärung der Dissipationsmechanismen beitragen und erstmalig direkte Auswirkungen einer künstlichen Lagenstruktur

auf die Transporteigenschaften nachweisen. Beide Ergebnisse sind für ein grundlegendes Verständnis und für Anwendungen bedeutsam.

## Schwere-Fermionen sind völlig anders

Mit dem Begriff Schwere-Fermionen-Systeme bezeichnet man Verbindungen, in denen die Leitungselektronen sich bei Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt so verhalten, als hätten sie eine 100fache Masse. Auch in dieser Materialfamilie gibt es supraleitende Verbindungen. Wegen der hohen effektiven Elektronenmassen hat man vermutet, dass sich die zur Supraleitung führenden Wechselwirkungen und die Symmetrie des Ordnungsparameters grundsätzlich von denen in konventionellen Supraleitern unterscheiden. Durch Tunnelexperimente an Heterostrukturen konnten wir nachweisen, dass die Supraleitung in  $\text{UPd}_2\text{Al}_3$  durch magnetische Wechselwirkungen zustande kommt und damit von grundsätzlich anderer Natur ist als in konventionellen Supraleitern.

## Von der Ladungszur Spinelektronik

In den leitfähigen Metalloxiden erlaubt der elektronische Überlapp zwischen Atomorbitalen einen hochkorrelierten, spinabhängigen Ladungstransfer, der in manchen Verbindungen zu „kolossal“ großen Magnetowiderstandseffekten führt. Dies bildet die Basis für ein neues Forschungsge-

biet, das Spinelektronik genannt wird und in dem z.B. neuartige Spintransistoren entwickelt werden. Durch Dünnschichtpräparation und Messung der Magnetotransporteigenschaften konnten wir den Mechanismus des Ladungstransfers und die Ladungsträgerdichte in  $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$  bestimmen und planare Tunnelstrukturen herstellen, die große Widerstandsänderungen in kleinen Magnetfeldern zeigen. Es ist spannend zu sehen, welche neuen Eigenschaften die Spin-Elektronik in den nächsten Jahren verwirklichen kann.

### Ferroelektrika speichern Ladung

**F**erroelektrika sind Materialien, in denen unterhalb einer kritischen Temperatur spontan eine elektrische Polarisation durch kooperative Ausrichtung elektrischer Dipole entsteht, die in vieler Hinsicht mathematisch analog wie die Ausrichtung magnetischer Dipole in Ferromagnetika behandelt werden kann. Als Beitrag zur Entwicklung nichtflüchtiger Speicherzellen (FeRAMs) erforschen wir die Präparation dünner Schichten ferroelektrischer Materialien wie  $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$  mittels Laser-Ablation auf einkristallinen Si-Wafern.

### Magnetismus verleiht der Informationsgesellschaft Flügel

**B**is zum Mittelalter galt die Kraftwirkung magnetischer Materialien als okkulte Eigenschaft. Heute finden Magnet-

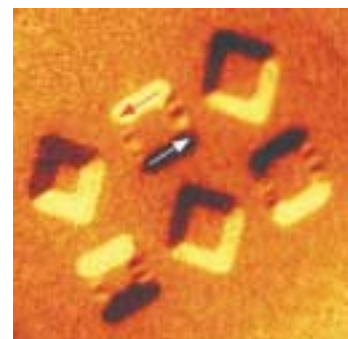
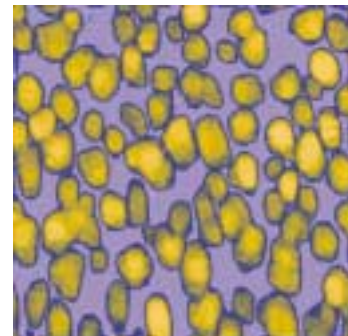
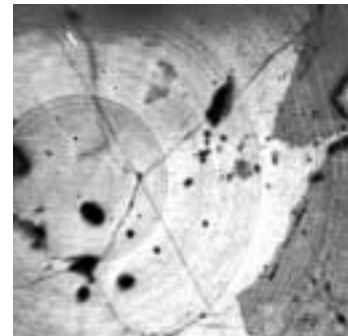
werkstoffe breite Anwendung in der Technik und in der Medizin. Die aufsehenerregendste Anwendung ist die magnetische Datenspeicherung, z.B. auf Videobändern und Festplatten. Neue physikalische Phänomene in Nanostrukturen und Übergittern wie Magnetowiderstandseffekte und indirekte Austauschkopplung wurden erst vor kurzem entdeckt und werden heute in jeder neuen Festplatte genutzt.

Für das Auftreten des kooperativen Phänomens Ferromagnetismus ist eine Mindestanzahl von Atomen notwendig. Wir nähern uns dieser Grenze durch Präparation ultradünner Schichten, die auch lateral eingeschränkt werden. Das kann künstlich durch Strukturierung oder durch Selbstorganisation geschehen.

Zur Erforschung der atomistischen Ursachen entwickeln wir experimentelle Methoden, die Magnetisierungsmessungen an Bruchteilen einzelner Atomlagen ermöglichen. Besonders faszinierend ist es, dem Magnetismus mit Hilfe eines Rastertunnelmikroskops auf atomarer Ebene auf die Spur zu kommen.

### Jeder Körper hat eine Oberfläche

**J**eder noch so ideale Kristall, jedes Stück Glas, jeder Tropfen einer Flüssigkeit ist endlich und hat deshalb eine Oberfläche. Die Oberflächenatome haben eine andere Umgebung als die im Volumen. Dadurch zeigt die Oberfläche andere physikalische Eigenschaften. Zudem findet an ihr die Wechselwirkung mit der Umgebung statt. Ihr Einfluß wird umso größer, je kleiner der Festkörper wird und spielt bei dünnen



Kleine magnetische Strukturen:

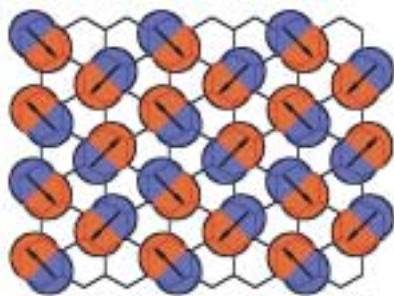
- Oben: Natürliche Gesteinsprobe mit zwei verschiedenen Eisenoxiden
- Mitte: Selbstorganisierte Kobaltinseln mit einer Höhe von genau einem Atom
- Unten: Mittels Masken künstlich hergestellte Struktur aus Permalloy mit magnetischen Domänen



Am Elektronenmikroskop

Metallschichten, Katalysatoren und chemischen Sensoren eine entscheidende Rolle. Als Meßmethoden haben Beugung, Spektroskopie und Mikroskopie niederenergetischer Elektronen besondere Bedeutung, da sie Informationen über Chemie, Ordnung, elektronische Struktur und Magnetismus von Oberflächen liefern. Für die Spektroskopie der durch Photoeffekt emittierten Elektronen stehen seit einigen Jahren auch intensive Synchrotronstrahlungsquellen zur Verfügung. Mit einem in Mainz entwickelten Photoelektronenmikroskop erreichen wir eine Auflösung von 25 nm und bilden Oberflächendomänen ab, die sich nur aufgrund der Orientierung der elektronischen Zustände unterscheiden. Das können z.B. magnetische Domänen oder ausgerichtete Moleküle sein. Am Synchrotron erhalten wir sogar elementselektive Bilder.

## Adsorbate – eine 2-dimensionale Welt



CO-Moleküle adsorbiert auf  
Graphitoberfläche (Sechsecke)

**W**ie ändern sich die Eigenschaften und Gesetzmäßigkeiten von Materie in einer zweidimensionalen (2D) Welt? Gibt es dort die gleichen Phasen und wie lassen sich ihre Phasenübergänge beschreiben? Zweidimensionale Systeme kann man durch Physisorption von Gasen auf Oberflächen präparieren. Sie bilden bei geeigneter Bedeckung monoatomare oder monomolekulare Filme, die unter dem im 2D dominanten Einfluß von thermischen Fluktuationen stehen und ungewöhnliche Eigenschaften zeigen. Deren Natur wird erforscht und mit Aussagen der Theorie, insbesondere auch von Computer-Simulations-Rechnun-

gen, verglichen. Hochempfindliche Methoden der Festkörper- und Oberflächenphysik erlauben es in den monomolekularen 2D Filmen ähnliche Zustände nachzuweisen wie in der 3D Natur: Gas-, Flüssigkeits-, Festkörper- und Glasphasen, elektrisch und magnetisch geordnete und ungeordnete Zustände, aber auch Phasen, die im 3D nicht vorkommen. Ein Beispiel zeigt nebenstehende Abbildung von CO-Molekülen auf Graphit.

## Experimente offenbaren die Natur

**Z**ur Durchführung der Projekte steht eine moderne Ausstattung zur Verfügung. Die Präparation dünner Schichten kann mittels Molekularstrahlepitaxie, Laser-Ablation sowie rf- und dc-Sputtern erfolgen, ihre Charakterisierung durch Raster- und Transmissions-Elektronenmikroskopie, Elektronenspektroskopie, Rastersondenmikroskopie und Röntgendiffraktometrie. Für Mikro- und Nanostrukturierung steht ein Reinraum zur Verfügung. Ein großer Park von Apparaturen ermöglicht lateral aufgelöste und elementselektive Oberflächenuntersuchungen, Magnetisierungsmessungen an ultradünnen magnetischen Schichten sowie Messungen in Magnetfeldern bis 15 Tesla und bei Temperaturen bis herab zu 8 mK. Diese Geräte sind z.T. auch in Industrielabors zu finden und ermöglichen es den Diplomanden und Doktoranden, neben der wissenschaftlichen Ausbildung, auch umfassende Kenntnisse in anwendungsrelevanten Festkörpertechnologien zu erwerben.

# FINANZIERUNG

Grundlage unserer Arbeit ist die Finanzausstattung durch das Land Rheinland-Pfalz. Das Land finanziert die Gebäude, Personal und Geräte. Zur Beschaffung wissenschaftlicher Geräte und zum Betrieb des Instituts werden jährlich Sachmittel zugewiesen. Weitere Mittel stammen aus den Sachmitteln des Materialwissenschaftlichen Forschungszentrums und des Zentrums für Umweltforschung.

Den überwiegenden Teil unserer Sachmittel werben wir aber in Form sogenannter „Drittmittel“ selbst ein. Darüber hinaus werden etwa 40% der für die Beschäftigung von wissenschaftlichem Personal benötigten Stellen aus eingeworbenen Drittmitteln finanziert.

Es handelt sich hierbei um Mittel, die uns von den Institutionen der öffentlichen Forschungsförderung für unsere Forschungsprojekte bewilligt werden. Diese Mittel werden nach kritischer Begutachtung der von den beteiligten Wissenschaftlern ausgearbeiteten Projektanträge vergeben. Die erfolgreiche Einwerbung von Drittmitteln ist ein Zeichen für die Qualität und die Konkurrenzfähigkeit unserer Arbeit. Der Mainzer Fachbereich Physik belegt hierbei seit Jahren einen der Spitzenplätze im bundesweiten Vergleich.

Wichtigster Drittmittelgeber ist die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die als Selbstverwaltungsorgan der deutschen Wissenschaft die ihr vom Bund und den Ländern zur Verfügung gestellten Fördermittel nach strengen Qualitätskriterien verteilt.

Neben Einzelprojekten, die im Normalverfahren gefördert werden, finanziert die DFG auch die Einrichtung der Sonderforschungsbereiche (SFB) an den Hochschulen, in denen sich Wissenschaftler (auch über Fachgrenzen hinweg) zusammenschließen, um gemeinsam einen umfassenden Themenkomplex zu bearbeiten. Wissenschaftler aus unserem Institut sind an folgenden Sonderforschungsbereichen beteiligt:

- SFB 252: Elektronisch hochkorrelierte metallische Materialien (Mainzer Sprecher: Prof. H. Adrian)
- SFB 262 Glaszustand und Glasübergang nichtmetallischer amorpher Materialien (Sprecher: Prof. K. Binder)
- SFB 443 Vielkörperstruktur stark wechselwirkender Systeme (Sprecher: Prof. Th. Walcher, Institut f. Kernphysik)

Mit der Einrichtung von Graduiertenkollegs (GRK) und der Vergabe von Stipendien für Doktoranden leistet die DFG über die Projektfinanzierung hinaus wichtige Beiträge zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Etwa 20 junge Wissenschaftler aus unserem Institut sind Stipendiaten im

- GRK Elementarteilchenphysik bei mittleren und hohen Energien (Sprecher: Prof. K. Kleinknecht)
- GRK Physik und Chemie supramolekularer Systeme. (Sprecher: Prof. M. Schmidt, Inst. f. phys. Chemie)

Etwa die gleiche Bedeutung wie die DFG Förderung hat die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Dieses hat bmb+f Förderschwerpunkte eingerichtet, an denen das Institut beteiligt ist. Beispiele sind:

- bmb+f Förderschwerpunkt ATLAS zur Messung höchstenergetischer Proton-Proton Stöße am Large Hadron Collider des CERN
- bmb+f Förderschwerpunkt ALEPH: Elektroschwache Wechselwirkung von Elementarteilchen am Large Electron Positron Speicherring LEP des CERN
- bmb+f Förderschwerpunkt NA48: Aufklärung der direkten CP-Verletzung, Verletzung der Symmetrie zwischen Materie und Antimaterie
- bmb+f Förderschwerpunkt Grundzustandsänderungen von Kernen
- bmb+f Förderschwerpunkt Strukturforschung mit Neutronen und Synchrotronstrahlung

Mit diesem Programm fördert das BMBF die Forschung von Universitätsgruppen an internationalen Großforschungszentren wie CERN in Genf, Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt, Deutsches Elektronensynchrotron (DESY) in Hamburg, Berliner Synchrotron (BESSY), Institut Laue-Langevin (ILL) und die Europäische Synchrotronstrahlungsquelle (ESRF) in Grenoble.