

Symmetrien in dichter Materie

Signale aus einer frühen Welt

■ Von Ulrich Mosel

Einmal angenommen, Sie könnten wie Alice in Lewis Carrolls „Through the looking glass“ durch einen Spiegel in das dahinterliegende Zimmer klettern – Würden Sie merken, in welche Umgebung es Sie verschlagen hat? Das Spiegelbild eines Zimmers ist ein Zimmer. Vielleicht würde ihnen jedoch im Laufe der Zeit beim Blick durch ein Fenster auffallen, daß die Sonne nach links wandert. Alice würde das nicht bemerken, denn sie wird zu ihrem eigenen Spiegelbild. Links ist für sie links, auch wenn wir vor dem Spiegel anderer Ansicht sein sollten. Die Welt im Spiegel und die wirkliche Welt scheinen sich exakt gleich zu verhalten. Seit 40 Jahren wissen wir, daß in kleinen Details diese Symmetrie jedoch nicht immer erfüllt ist. Die Suche nach den Ursachen für die Symmetriebrechung beschäftigt seitdem die theoretische Physik.

Physik beschäftigt sich mit reproduzierbaren Ergebnissen. Unabhängig davon, ob der Experimentator seine Apparatur in Indien oder in Deutschland aufbaut, sollte das Ergebnis eines Experiments dasselbe sein. Das ist nicht trivial. Dahinter verbirgt sich eine tiefliegende Eigenschaft der Naturgesetze.

Die Verschiebung im Raum gehört in den Augen eines Physikers ebenfalls zu den Symmetrioperationen, denn das deutsche Labor wird durch das indische ersetzt, so wie ein Bild durch das Abbild im Spiegel ersetzt wird. Unter dem Begriff der Symmetrioperation wird jede Art von Ersetzung gefaßt, zum Beispiel auch eine Verschiebung in der Zeit: Wir gehen davon aus, daß die Naturge-

setze kurz nach dem Urknall genauso gegolten haben wie heute. Ohne diese Voraussetzung könnten wir die Geschichte des Universums nicht schreiben.

Symmetrien spielen in der Physik eine wichtige Rolle, denn aus ihnen folgen Erhaltungssätze. Wenn das Naturgesetz, das das Verhalten eines Systems beherrscht, insgesamt von gewissen Ersetzungen nicht geändert wird, gibt es eine zugehörige Größe, die sich im Laufe der Zeit nicht ändert: die Erhaltungsgröße. Das besagt das von der Mathematikerin Emmy Noether 1918 bewiesene Noether-Theorem.

Aus der Symmetrie der Naturgesetze bei Verschiebungen im Raum folgt zum Beispiel die Impulserhaltung. Bisher ist kein Ex-

periment bekannt, das vernünftige Zweifel an diesem Erhaltungssatz erlaubt. Daß, nach allem was wir wissen, der Impulserhaltungssatz gilt, ist eine starke Stütze für die Verschiebungssymmetrie der Naturgesetze im Raum und für die Reproduzierbarkeit von Experimenten unabhängig von ihrem Ort.

Umgekehrt ist natürlich die beobachtete Reproduzierbarkeit ein starkes Argument für die Impulserhaltung und die Verschiebungssymmetrie. Impulserhaltungssatz, Verschiebungssymmetrie und Reproduzierbarkeit stützen sich gegenseitig, gegebenenfalls gefährden sie einander. Wäre eine der drei Eigenschaften verletzt, hätte das Konsequenzen für die anderen zwei.

Emmy Noether geboren 1882 in Erlangen, studierte dort Mathematik. 1915 holte David Hilbert sie nach Göttingen und setzte sich dafür ein – „Eine Universität ist doch keine Badeanstalt!“ – daß sie eine Professur erhielt. Aber erst 1922 wurde Emmy Noether tatsächlich berufen. Als Jüdin und Anhängerin der USPD mußte sie 1933 in die USA emigrieren, wo sie zwei Jahre später starb.





Erhaltungssatz

In der Quantenmechanik gehört zu jeder Symmetrie der Naturgesetze ein Erhaltungssatz. Er bezieht sich auf eine Größe, die sich im Laufe der Zeit nicht ändert. Das bekannteste Beispiel für eine Erhaltungsgröße ist die Energie – sie kann weder erzeugt noch vernichtet werden.

Dasselbe gilt für die Symmetrie der Naturgesetze bei Drehungen. Die Erde dreht sich einmal täglich um ihre Achse. Da die Experimen-

Geltungsbereich	Erhaltungsgröße	zugehörige Symmetrie
makroskopisch (klassische Physik)	Impuls Drehimpuls	Verschiebungssymmetrie Drehsymmetrie
mikroskopisch (Quantenmechanik)	starke Wechselwirkung innerer Drehimpuls	Isospinsymmetrie chirale Symmetrie

te sich im Labor unabhängig von der Tageszeit reproduzieren lassen – die Erde hat sich unterdessen ja weitergedreht – wird so auch die Drehsymmetrie bestätigt. Die gegenüber dem Weltraum unterschiedlich orientierten Apparaturen gehorchen immer noch denselben Naturgesetzen – aus dem Theorem von Emmy Noether folgt deswegen, daß die physikalische Größe Drehimpuls sich im Laufe der Zeit nicht ändert. Auch der Drehimpuls ist eine Erhaltungsgröße.

Ein weiteres Beispiel dafür ist die Bewegung der Erde um die Sonne (Abbildung 1). Die hier wirkende Kraft ist die Gravitation, die nur vom Abstand zwischen Erde und Sonne abhängt und sich deshalb dem Betrage nach nicht ändert, wenn sich die Erde mit gleichbleibendem Abstand um die Sonne bewegt. Der Drehimpuls ist eine gerichtete Größe, die der Drehachse folgt (Pfeil durch die Sonne). Aus dem Erhaltungssatz für den Drehimpuls er-

gibt sich, daß sich die Erde immer in derselben Ebene bewegt.

Mikroskopische Symmetrien

Neben solchen sogenannten geometrischen Symmetrietransformationen, wie zum Beispiel Spiegelungen, Verschiebungen oder Drehungen, die uns aus unserer makroskopischen Welt vertraut sind, gibt es auch solche, die auf der mikroskopischen Ebene der Teilchen wirken. Atomkerne werden durch manche Transformationen nicht verändert, die nur verschiedene Bausteine vertauschen. Ein Beispiel dafür ist die von Werner Heisenberg entdeckte Isospinsymmetrie der starken Wechselwirkung. Diese Wechselwirkung – Physiker sprechen lieber von Wechselwirkungen als von Kräften – hält die Atomkerne zusammen. Ein Atomkern besteht aus elektrisch geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen (vergleiche Kasten „Die körnige Struktur der Materie“). Die starke

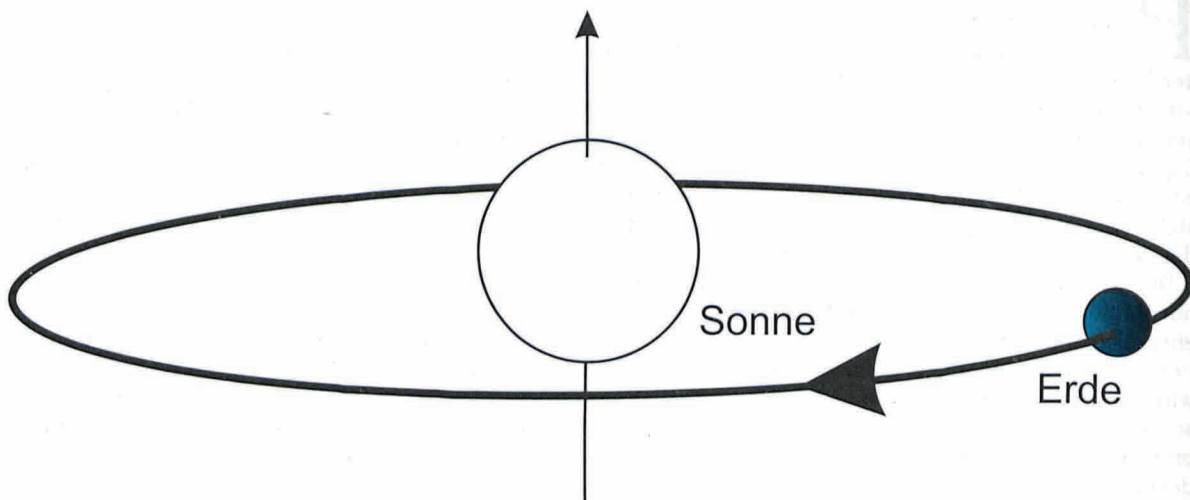
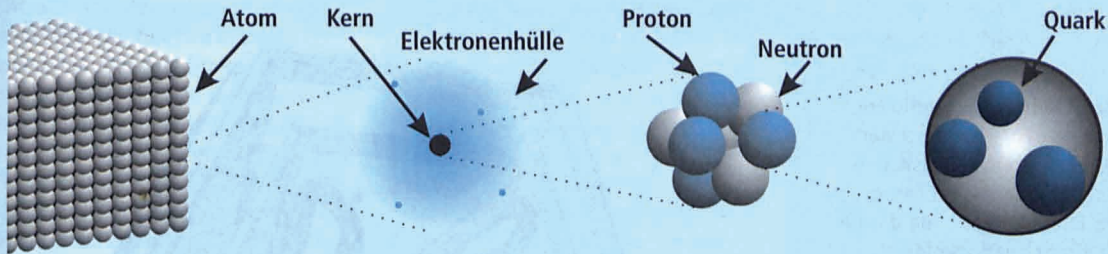


Abbildung 1: Die Erde dreht sich um die Sonne und verläßt dabei die Bahnebene nicht. Die hier wirkende Kraft ist die Gravitation, die nur vom Abstand zwischen Erde und Sonne abhängt. Der Drehimpuls ist eine gerichtete Größe, die der Drehachse folgt (Pfeil durch die Sonne). Aus dem Erhaltungssatz für den Drehimpuls ergibt sich, daß sich die Erde immer in derselben Ebene bewegt.

Die körnige Struktur der Materie



Teilchen ist kein ganz einfaches Konzept. Wer ein Stück Lakritz teilt, erhält zwei Stücke Lakritz, nur kleiner. Diese Teilungsschritte lassen sich etwa 25 mal wiederholen, dann wird in der Materie eine körnige Struktur aus Molekülen und Atomen erkennbar. Die Atome bestehen aus positiv geladenen Atomkernen und einer negativ geladenen Elektronenhülle. Die Atomkerne enthalten positiv geladene Protonen und die elektrisch neutralen Neutronen; zusammenfassend werden Protonen und Neutronen auch „Nukleonen“ genannt. Diese Nukleonen sind auch noch nicht elementar: Sie bauen sich aus jeweils drei Quarks auf. Mittlerweile

sind sechs unterschiedliche Quarks und sechs sogenannte Leptonen – ein Sammelbegriff für Elektronen und Teilchen mit Elektronencharakter – bekannt. Während die Leptonen experimentell direkt beobachtet werden können, sind alle Quarks in den Nukleonen eingesperrt. Trotzdem kann man aus einer Analyse der Massen der Nukleonen schließen, daß die Quarks, die die Protonen und Neutronen aufbauen, alle nahezu masselos sind.

In der Natur gibt es nach unserer heutigen Kenntnis zwischen diesen Teilchen drei fundamentale Wechselwirkungen:

- die Gravitationswechselwirkung, die auf die Massen aller Teilchen

wirkt, und für den Aufbau unseres Kosmos und speziell die Erdanziehungskraft verantwortlich ist,

- die sogenannte starke Wechselwirkung, volkstümlich auch „Kernkraft“ genannt, die die Bausteine im Atomkern – Protonen und Neutronen – zusammenhält und auf die Quarks in diesen „Nukleonen“ wirkt,
- die elektroschwache Wechselwirkung, die einerseits die Kräfte zwischen elektrischen Ladungen vermittelt und andererseits die Kräfte, die für eine Form der Radioaktivität – den sogenannten beta-Zerfall – verantwortlich sind, und die auf Quarks und Leptonen wirkt.

Wechselwirkung ist allerdings von der Ladung unabhängig, unterscheidet also nicht zwischen Protonen und Neutronen. Vertauscht man in Gedanken Protonen und Neutronen, ändert sich an der starken Wechselwirkung im Atomkern nichts.

Ein Proton läßt sich natürlich nicht wirklich in ein Neutron verwandeln. Die Konsequenzen für die Naturgesetze hängen aber nicht davon ab, ob eine Isospintransformation wirklich durchgeführt werden könnte. Auch wenn Alice nicht wirklich eine Spiegelwelt besuchen kann, darf man doch darüber nachdenken, welche Naturgesetze darin gälten.

Allerdings kann auch eine Symmetrietransformation manchmal nicht durchgeführt werden, weil dem die Asymmetrie anderer Na-

turgesetze entgegensteht. Die Symmetrie wird dann „gebrochen“. Die Isospinsymmetrie ist eine Symmetrie der starken Wechselwirkung innerhalb von Atomkernen. Die elektroschwache Wechselwirkung kann sie brechen, denn das Proton ist elektrisch geladen, das Neutron nicht. Ein Bleikern aus 82 Protonen und 125 Neutronen zum Beispiel müßte bei Isospinsymmetrie in einen Kern aus 125 Protonen und 82 Neutronen umgewandelt werden können. Tatsächlich gibt es diesen Kern wegen der elektrischen Abstoßung der 125 Protonen aber nicht. Die abstoßende elektrische Wechselwirkung überwiegt die anziehende starke Wechselwirkung und bricht so ihre Symmetrie. Aus diesem Grund gibt es Neutronensterne aber keine Pro-

tonensterne. Aus Sicht des Theoretikers ist das gleichgültig – ein Zufall. Für ihn ist die Isospinsymmetrie der starken Wechselwirkung eine der am besten erfüllten Symmetrien in der Natur. Sie besteht auf der Ebene der kleinsten Bausteine unserer Materie, der Quarks, und ist auch bei kernphysikalischen Prozessen – wie zum Beispiel dem radioaktiven Zerfall – sehr gut erfüllt.

Links und rechts in der Natur

Eine weitere sehr wichtige, aber für Nichtfachleute noch unbekanntere Symmetrie der starken Wechselwirkungen ist die sogenannte chirale Symmetrie. Sie besagt, daß masselose Teilchen ihren inneren Drehimpuls, den sogenannten Spin, stets entweder parallel oder antiparallel entlang

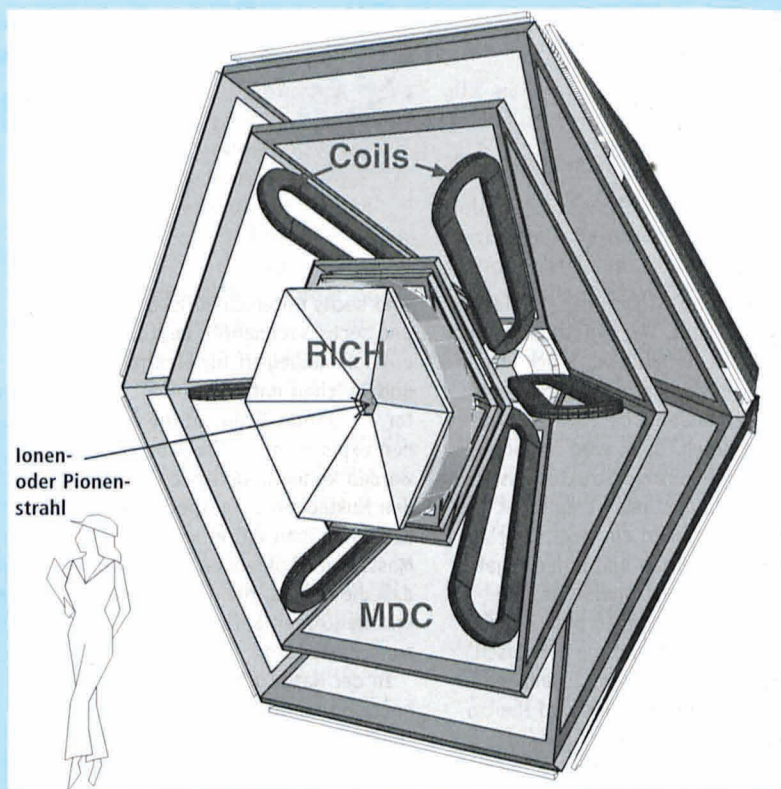
Werner Heisenberg
geboren 1901 in Würzburg, studierte Physik in München und Göttingen. 1927 wurde er zum ordentlichen Professor der Physik in Leipzig berufen. Mit seinem Namen ist die berühmte Unbestimmtheitsrelation verbunden. 1932 erhielt er den Nobelpreis. 1941 wurde er nach Berlin und zum Direktor am Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik berufen, wo er am deutschen Uran-Projekt mitarbeitete. 1976 starb Werner Heisenberg in München.

Chiralität
wörtlich „Händigkeit“. Manche Strukturen wie unsere Hände sind zwar gleich aufgebaut und doch verschieden: Sie liegen in einer linken und einer rechten Form vor. Spiralen sind ein weiteres Beispiel für chirale Strukturen: Es gibt sie in einer linken und einer rechten Form, die nur durch einen Spiegel ineinander überführbar wären.

Schwerionenphysik in Gießen

In Gießen stellt die Schwerionenphysik einen Forschungsschwerpunkt des Fachbereichs Physik dar. Dabei werden die erstklassigen experimentellen Einrichtungen, die die Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt bietet, optimal benutzt. Hier haben Studenten und Mitarbeiter Zugang zu Geräten und Beschleunigern, die weltweit einmalig sind und von keiner Universität mehr geboten werden können. Ergänzt wird dies in der Lehre durch das Graduiertenkolleg „Theoretische und experimentelle Grundlagen der Schwerionenphysik“, das gemeinsam mit Frankfurter Kollegen betrieben wird.

Die GSI ist vor etwa 25 Jahren – ursprünglich als Zentrallabor der hessischen Universitäten konzipiert – als gemeinsam vom Bund und dem Land Hessen getragene Großforschungseinrichtung gegründet worden; sie ist übrigens die einzige Großforschungseinrichtung in Hessen. Die Verbindungen Gießener Physiker zur GSI gehen bis in deren Planungsphase zurück. Professor Heinz Ewald, damals der Direktor des II. Physikalischen Instituts, war der geistige Vater und Konstrukteur eines großen Geschwindigkeitsfilters, genannt SHIP, das aus einem millionenfachen Untergrund von durchfliegenden Atomkernen die ganz wenigen besonders schweren abtrennen kann, die vielleicht in einer Kernreaktion davor erzeugt worden sind. Dieses SHIP, das immer noch verwendet wird, ist das entscheidende Instrument für die Entdeckung der überschweren Elemente, die in den letzten Jahren zu so viel Aufmerksamkeit in der Presse geführt hat. Auch personell ist Gießen weiter mit der GSI eng verbunden; der Theoretiker Prof. Ulrich Mosel hat 6 Jahre lang dem Wissenschaftlichen Rat der GSI angehört und deren Forschungsausschuß vorgesessen. Prof. Wolfgang Münzenberg, der jetzige Bereichsleiter der Kernstruk-



Die Abbildung zeigt den geplanten HADES-Detektor in korrekter Größe relativ zu der daneben stehenden Person. Der Strahl von Ionen oder Pionen aus dem Schwerionenbeschleuniger der GSI kommt von links in das Zentrum des Detektors. Die verschiedenen Teile dieses Detektorsystems dienen alle der eindeutigen Identifikation von Elektron-Positron-Paaren in einem sehr hohen Untergrund von anderen geladenen Teilchen. RICH markiert einen Zähler, der das von den sehr schnellen Elektronen und Positronen beim Durchgang durch Materie emittierte Cerenkov-Licht nachweist. Die

turphysik bei der GSI, war ein Schüler von Prof. Ewald; und Prof. Volker Metag, der jetzige Direktor des II. Physikalischen Instituts, ist gegenwärtig Forschungsdirektor bei der GSI. Schließlich wird jetzt auch wieder ein Großinstrument für die GSI von Gießener Physikern entwickelt; Professor

Spulen (Coils) erzeugen ein Magnetfeld, in dem geladene Teilchen in für sie typischer Weise abgelenkt werden, und die anderen in der Figur angedeuteten Detektorkomponenten dienen alle der Trennung der Elektron-Positron-Paare von anderen geladenen Teilchen. Außerdem kann durch sie das Stoß-Ereignis genauer charakterisiert werden; so gibt zum Beispiel die Zahl der insgesamt gemessenen geladenen Teilchen ein Maß dafür, ob die Kerne einen „Frontalzusammenstoß“ erlitten haben oder sich nur streifend berührt haben.

Wolfgang Kühn, ebenfalls vom II. Physikalischen Institut, ist einer der treibenden Kräfte beim Bau des Dileptonenspektrometers HADES (oben), das nach den im Artikel beschriebenen Effekten einer möglichen Wiederherstellung der chiralen Symmetrie bei hohen Dichten suchen soll.

ihres Impulses ausrichten. Anschaulich kann man sich vorstellen, daß sie sich in Flugrichtung gesehen links oder rechts herum drehen (Abbildung 2). Diese Ausrichtung ihres Drehsinns, die „Chiralität“, bleibt bei allen elementaren Wechselwirkungen erhalten. Da das nur für masselose Teilchen gilt, könnte es scheinen, als sei diese chirale Symmetrie allenfalls für einige wenige Teilchen relevant; ein Beispiel könnten die beim Beta-Zerfall radioaktiver Kerne entstehenden Neutrinos sein, deren Massen sich in allen bisherigen Experimenten als unmeßbar klein erwiesen haben. Da alle andere Materie aus massiven Bausteinen, den Protonen und Neutronen, aufgebaut ist, scheint diese chirale Symmetrie eine möglicherweise vielleicht fundamentale, aber relativ unwichtige Rolle zu spielen.

Erst im letzten Jahrzehnt haben theoretisch arbeitende Physiker realisiert, daß die chirale Symmetrie eine wirklich fundamentale, weitreichende Bedeutung besitzt, die in den ersten Momenten unserer Welt nach dem „Big Bang“, als sich die Bausteine unserer Materie, die Quarks, in einem sehr heißen „Feuerball“ fast masselos und frei bewegten, nahezu vollständig erfüllt war. Auf der makroskopischen Ebene der Neutronen und Protonen – der Nukleonen, so wie wir sie heute im Atomkern beobachten – ist sie dagegen massiv gebrochen. Dies ist relativ einfach einzusehen: Quarks sind nach unseren jetzigen Vorstellungen in Nukleonen gleichsam eingesperrt; im Innern der Nukleonen bewegen sie sich nahezu masselos und kräftefrei, lediglich an der Wandung des Nukleons erfahren sie eine Wechselwirkung, die sie reflektiert und damit nicht nach außen dringen läßt.

Beim Zusammenstoß mit der Wand ändern die Quarks zwar ihre Bewegungsrichtung, aber nicht ihren Drehsinn. Dies führt zu einem Vorzeichenwechsel in ihrer Chiralität, das heißt zu einer Verletzung der chiralen Symmetrie. Einsperren der Quarks im

Vakuum ist nicht Nichts

Das 'Vakuum' wird vom Physiker heute als der Zustand niedrigster möglicher Energie verstanden. Entgegen der landläufigen Annahme besteht dieser Zustand aber nicht aus „leerem Raum“, sondern minimale Energie – ohne Anwesenheit irgendwelcher realer Teilchen – wird in einem hochgradig korrelierten Zustand aus temporär fluktuierenden Quark-Antiquark-Zuständen und aus Gluonen, den Trägern der starken Wechselwirkung, erreicht. Auch im Vakuum-Zustand unserer heutigen Welt

ist die chirale Symmetrie gebrochen, aber in einer Frühphase unseres Kosmos, in der in einem sehr heißen Feuerball die Quarks noch nicht in Nukleonen eingeschlossen waren, war sie nahezu vollständig erfüllt. In aufwendigen Experimenten mit Schwerionenstrahlen bei hochrelativistischen Energien wird versucht, das Vakuum wieder auf die Temperaturen dieses Anfangszustandes aufzuheizen. Der Physik-Nobelpreisträger T.D. Lee hat dies einmal *vacuum engineering* genannt.

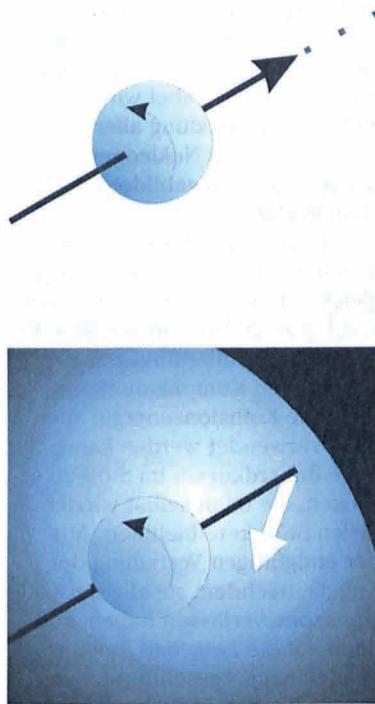


Abbildung 2: Ein Teilchen kann einen inneren Drehimpuls besitzen, den sogenannten Spin. Anschaulich kann man ihn sich so vorstellen, daß sich das Teilchen in Flugrichtung gesehen links oder rechts herum dreht. Diese Ausrichtung des Drehsinns, die „Chiralität“, bleibt bei masselosen Teilchen in allen elementaren Wechselwirkungen erhalten. Auch Quarks bewegen sich im Innern der Nukleonen nahezu masselos. Stoßen sie allerdings gegen die Wand des einhüllenden Nukleons, bleibt der ursprüngliche Drehsinn nicht mehr erhalten: Die chirale Symmetrie wird gebrochen.

Nukleon führt daher automatisch auch zu einer Brechung der chiralen Symmetrie, die damit bei kernphysikalischen Prozessen nicht mehr direkt beobachtbar ist; gleichzeitig ist dieses Einsperren offensichtlich mit der großen Masse der Nukleonen verknüpft. Brechung der chiralen Symmetrie, Eingesperrtsein der Quarks und Teilchenmassen hängen anscheinend eng miteinander zusammen. Die Nukleonen mit ihrem kräftefreien, chiral symmetrischen Innenraum bilden gleichsam die Löcher in einem Vakuum, das eine komplizierte Gestalt mit gebrochener chiraler Symmetrie besitzt.

Daß diese Vorstellung richtig ist, könnte man durch Kompression der Materie überprüfen. Bei der aus Experimenten bekannten Dichte der Materie in Atomkernen sitzen die Nukleonen noch relativ

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Prof. Dr. Ulrich Mosel

Institut für Theoretische Physik
Heinrich-Buff-Ring 16
35392 Gießen
Telefon (06 41) 99-333 00
Fax (06 41) 99-333 09
e-mail: mosel@theo.physik.uni-giessen.de



Ulrich Mosel, Jahrgang 1943, ist seit 1972 Professor für Theoretische Physik an der Universität Gießen. Sein besonderes Interesse gilt der Untersuchung von Eigenschaften von Elementarteilchen in sehr heißer und dichter Materie. Dabei arbeitet er, obwohl Theoretiker, sehr experimentnah; in aufwendigen numerischen Simulationen versuchen er und seine Mitarbeiter, das Geschehen in hochenergetischen Reaktionen zwischen schweren Kernen dynamisch zu beschreiben. Er ist Sprecher des Graduiertenkollegs Schwerionenphysik, zu der Gießener Physiker international sichtbar beitragen. Vor circa 15 Jahren hat er einen Austausch von Physik-Studenten mit dem Department of Physics der University of Washington in Seattle/USA ins Leben gerufen, an dem mittlerweile schon über 60 Gießener Studenten teilgenommen haben.

weit auseinander: Jedes Nukleon hat etwa das Dreifache seines eigenen Volumens zur Verfügung (Abbildung 3). Damit überwiegt bei normaler Dichte die Vakuumphase mit gebrochener chiraler Symmetrie gegenüber derjenigen mit intakter chiraler Symmetrie: Wir nehmen in unserer Welt die chirale Symmetrie allenfalls noch andeutungsweise wahr. Gelänge es aber nun, Materie auf etwa das Dreifache ihrer Grundzustandsdichte zu komprimieren, dann würden die chiral symmetrischen

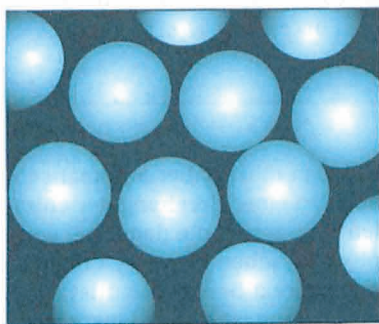
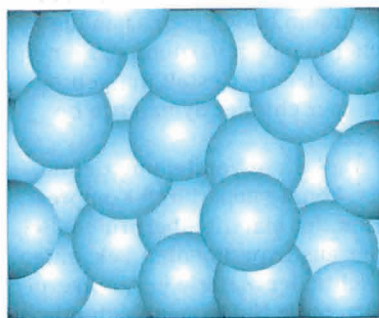


Abbildung 3: Die Nukleonen in einem Atomkern bilden gleichsam die Löcher in einem Vakuum. Nur innerhalb dieser Räume ist die chirale Symmetrie erfüllt. Damit sie auf den gesamten Raum ausgedehnt werden kann, müßte man die Kernmaterie auf das Dreifache verdichten.



„Löcher“ das ganze Material ausfüllen, die chirale Symmetrie wäre im Ganzen wieder hergestellt.

Kernmaterie komprimieren

Solche Kompressionen sind nun in der Tat möglich: In Kollisionen schwerer Atomkerne, wie sie zum Beispiel mit den Beschleunigern der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt untersucht werden können, wird schon Materie bis hin zum 2 bis 2½fachen normaler Kernmaterie

komprimiert. Das entspricht in etwa der Dichte, die beim Gravitationskollaps von ausgebrannten Sternen erreicht wird. Bei den etwa 100 mal höheren Einschußenergien, die an den Beschleunigern der europäischen Kernforschungsanlage CERN möglich sind, werden noch höhere Dichten erreicht, die bei diesen sehr hohen Energien allerdings nur noch für eine kürzere Zeit aufrechterhalten werden können.

Alle diese Aussagen lassen sich nur noch im intensiven Vergleich von numerisch sehr aufwendigen Simulationen von hochenergetischen Kern-Kern-Stößen gewinnen; die Gießener Arbeitsgruppe um die Professoren Wolfgang Cassing und Ulrich Mosel beschäftigt sich nun schon seit nahezu zehn Jahren mit der Entwicklung dafür geeigneter Verfahren und Computerprogramme. Dabei wird die zeitliche Entwicklung aller am Stoß beteiligten Nukleonen und der im Stoß neu gebildeten Teilchen verfolgt.

Anschaulich vergleichbar wäre dies mit einer Beschreibung des gleichzeitigen Zusammenstoßes von bis zu 200 Billiardkugeln mit 200 anderen, allerdings mit der besonderen Komplikation, daß die hohe Kollisionsenergie auch dazu verwendet werden kann, 400 neue Billiardkugeln im Stoß zu erzeugen, die dann selbst wieder an vielen Stößen teilnehmen. Aus der endgültigen Verteilung der Kugeln, nachdem sie alle die Kollisionszone verlassen haben, soll dann auf die zwischen ihnen wirkenden Kräfte geschlossen werden. In der tatsächlichen Simulation müssen natürlich auch die Einschränkungen und besonderen Eigenschaften der Quantenphysik und der Elementarteilchenphysik berücksichtigt werden.

Mit solchen Untersuchungen hat die Arbeitsgruppe am Institut für Theoretische Physik der Universität Gießen in den letzten Jahren Experimente in Caen (Frankreich), Berkeley (USA) und natürlich bei der GSI in Darmstadt vorbereitet und begleitet. Die Aussagen über die erreichten Dichten, die oben gemacht wurden, stam-

men aus solchen Analysen. Alle diese Arbeiten werden von Diplomanden und Doktoranden durchgeführt; die praktische Lösung komplexer großer Probleme am Computer hat hier die für ein Hochschulinstitut durchaus wünschenswerte Folge, die Berufschancen der Absolventen deutlich zu erhöhen.

Die Verdichtung im Stoß ist erreichbar

Anläßlich einer Veranstaltungsreihe des Graduiertenkollegs Schwerionenphysik – das gemeinsam mit Kollegen der Universität Frankfurt betrieben wird – zur Zukunft dieses Arbeitsgebietes haben sich vor etwa anderthalb Jahren die beteiligten Physiker geeinigt, nach optimalen Bedingungen für die Erzeugung höchster Dich-

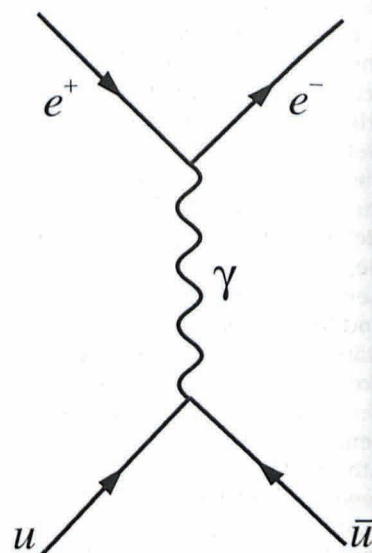


Abbildung 4: Das Bild zeigt den sogenannten 'Feynman Graphen' der Zerstrahlung eines Quark-Antiquark Paares (unten) in ein virtuelles Lichtquant (gewellte Linie), ein Photon, das oben wieder zu einem Elektron-Positron Paar, das mit geeigneten Detektoren beobachtet werden kann, materialisiert. Da ein Meson aus einem Quark-Antiquark Paar aufgebaut ist, kann man durch Messung der freiwerdenden Energie in diesem Prozeß die Masse des zerstrahlenden Mesons bestimmen. Ein solcher Feynman-Graph gibt nicht nur ein sehr anschauliches, intuitives Bild des Prozesses, sondern er läßt sich auch eindeutig in einen mathematischen Ausdruck für die Wahrscheinlichkeit für diesen Prozeß umsetzen.

ten zu suchen. In diesen Untersuchungen mit den unterschiedlichsten Verfahren, die der Gießener Physiker Wolfgang Cassing ganz maßgeblich vorangebracht hat, hat sich gezeigt, daß es einen relativ breiten Energiebereich für die optimale Einschußenergie zur Erzeugung langlebiger, hoher Dichten gibt, der etwa beim 15 bis 20fachen der jetzt bei der GSI Darmstadt erreichbaren Energie, aber deutlich unter der am CERN verfügbaren, liegt.

Amerikanische, japanische und deutsche Forschergruppen haben bereits ausführliche theoretische Vorarbeiten zum Nachweis der durch die hohe Verdichtung im Stoß kurzzeitig wieder hergestellten chiralen Symmetrie geleistet.

Besonders vielversprechend sind Experimente, die nach einer Absenkung der Massen bestimmter Elementarteilchen in dichter Materie suchen. Da bei der Verdichtung die „Löcher“ mit ihren chiralen symmetrischen, nahezu masselosen Quarks immer mehr der gesamten Materie ausfüllen, werden deren Bausteine immer leichter. Solche Massenänderungen lassen sich zum Beispiel durch die Zerstrahlung von Mesonen in Paare aus Elektronen und ihren Antiteilchen, den Positronen, messen (Abbildung 4). Nach der berühmten Einsteinschen Energie-Masse-Beziehung wäre eine Massenabsenkung des zerstrahlenden Teilchens dann unmittelbar an der fehlenden Energie bei der Zer-

strahlung zu erkennen.

Leider reicht der Schwerionenbeschleuniger bei der GSI Darmstadt nicht in den optimalen Energiebereich hinein; dennoch soll dort bereits mit dem neuen Detektorsystem HADES, für dessen Entwicklung und Aufbau sich eine internationale Kollaboration unter maßgeblicher Mitwirkung des Gießener Experimentalphysikers Prof. Wolfgang Kühn gebildet hat, nach Vorläufereffekten für die Wiederherstellung der chiralen Symmetrie gesucht werden. Bei den sehr viel höheren Energien am CERN, jenseits der optimalen Einschußenergie, sucht ein anderes Experiment ebenfalls nach solchen Massenänderungen bekannter Teilchen. ■