

Superschwere Elemente und Neutrinos

Vor 60 Jahren wurde das Vereinigte Institut für Kernforschung in Dubna gegründet.

Christian Spiering und Herwig Schopper

Am 26. März 1956 unterzeichneten elf Länder des damaligen Ostblocks einen Vertrag zur Gründung eines internationalen Kernforschungsinstituts, das bei den Vereinten Nationen registriert wurde. Das Institut hat auf einigen Gebieten Wissenschaftsgeschichte geschrieben und war über drei Jahrzehnte ein wichtiges Bindeglied über den eisernen Vorhang hinweg. Heute versteht es sich als Teil einer gesamteuropäischen Forschungslandschaft.

Das Vereinigte Institut für Kernforschung (engl. Joint Institute for Nuclear Research, JINR) befindet sich in Dubna, etwa 120 km nordöstlich von Moskau. Von Beginn an war es auf die friedliche Anwendung der Kernenergie sowie auf Grundlagenforschung in der Kern- und Elementarteilchenphysik ausgerichtet. Bis kurz zuvor hatte Dubna allerdings noch zu jenen auf keiner Landkarte verzeichneten Ortschaften gehört, in denen während der 1940er-Jahre im Rahmen des sowjetischen Atombombenprogramms streng geheime Forschungsinstitute angesiedelt waren. Bei der Gründung des JINR konnte die Sowjetunion darum zwei existierende (zuvor ebenfalls geheime) Institute der sowjetischen Akademie der Wissenschaften in das internationale Institut einbringen – das Laboratorium für Kernprobleme mit seinem 680-MeV-Zyklotron und das Laboratorium für hohe Energien, in dem 1957 ein 10-GeV-Synchrotron seinen Betrieb aufnehmen sollte. In den Dubnaer Teilinstituten („Laboratorien“, Abb. 1) sind über sechs Jahrzehnte hinweg viele wichtige Resultate erzielt und neuartige Methoden entwickelt worden, die wir hier natürlich nur anhand von wenigen Beispielen beleuchten können.



Rote Ziegel verkünden unübersehbar an der Stirnwand eines Wohnhauses in Dubna: „Das Atom ist kein Soldat, das Atom ist ein Arbeiter!“

Am spektakulärsten ist sicherlich die Entdeckung superschwerer Elemente im Laboratorium für Kernreaktionen (LNR). Dessen Leitung übernahm 1957 Georgi Flerov, einer der wichtigen Protagonisten des sowjetischen Atomprojekts (Abb. 2). Das LNR hat sich über Jahrzehnte ein Wettrennen mit der University of California in Berkeley und später dem GSI Helmholtzzentrum in Darmstadt um den Erstrnachweis von Transfermium-Elementen (Ordnungszahl > 100) geliefert. Trotz gelegentlicher Prioritätsstreitigkeiten ist der bedeutende Beitrag des LNR zu diesem Themenfeld unbestritten und wurde durch die Benennung der Elemente 101 (Mendelevium) und 105 (Dubnium) gewürdigt. Gegenwärtig wetteifert das LNR mit seinen alten Konkurrenten und dem RIKEN-Institut in Japan darum, als Erster die erwartete „Insel der Stabilität“ bei etwa 114 Protonen und 184 Neutronen im Kern zu erreichen.

Dubna hat in den letzten Jahren die Synthese von neuen Elementen mit Kernladungszahlen von 113

bis 118 bekanntgegeben. Davon erhielten die Elemente 114 und 116 auf Vorschlag des LNR die Namen Flerovium und Livermorium. Was bis zum Zentrum der Insel der Stabilität allerdings noch fehlt, sind zusätzliche fünf bis zehn Neutronen im Kern. Der Bau der neuen „SHE Factory“ zur Erzeugung superschwerer Kerne mit höheren Strahlintensitäten wird diesem Forschungszweig innerhalb des JINR auch in Zukunft ein bedeutendes Gewicht verleihen. Zwischen GSI und LNR bestehen enge wissenschaftliche Beziehungen.

Das Laboratorium für Neutronenphysik (LNP) hat eine Pionierrolle in der Forschung mit ultrakalten Neutronen gespielt, deren Geschwindigkeit im Bereich einiger Meter pro Sekunde liegt. Diese lassen sich durch reflektierende Wände über längere Zeit „einschließen“. Die Speicherung solcher Neutronen gelang 1969 zeitgleich in Dubna und München. Ultrakalte Neutronen erlaubten beispielsweise, die genauesten Werte für die Neutronen-Lebensdauer und obere

Dr. Christian Spiering, DESY, Platanenallee 6, 15738 Zeuthen und Prof. Dr. Herwig Schopper, CERN, CH-1211 Genf, Schweiz

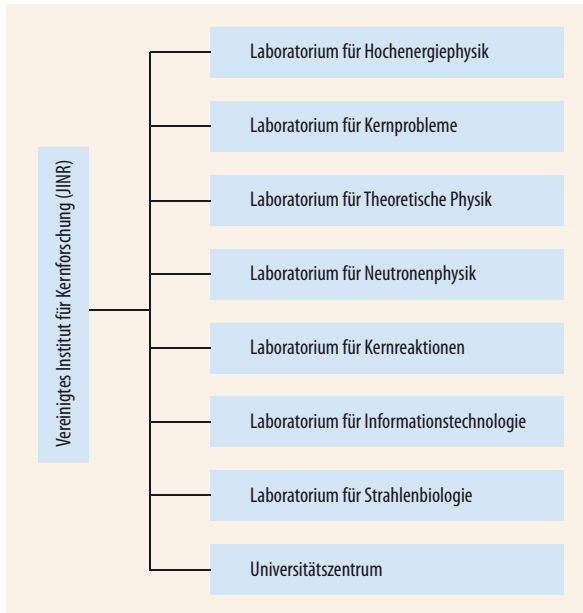


Abb. 1 Zum JINR gehören sieben Teilinstitute sowie das Universitätszentrum.

Grenzwerte für das elektrische Dipolmoment des Neutrons zu bestimmen.

Das Aushängeschild des LNP ist jedoch ein gepulster Neutronenreaktor, der viele Strukturuntersuchungen eleganter zulässt als stationäre Reaktoren [1]. Normalerweise werden gepulste Neutronen an Spallationsquellen mithilfe periodisch gepulster Teilchenbeschleuniger erzeugt. Die Dubnaer Wissenschaftler sind einen völlig anderen Weg gegangen: Direkt vor einer Brennstoffkammer rotieren zwei Arme mit Neutronenreflektoren in gegenläufiger Richtung. In dem kurzen Moment, da beide Rotoren übereinanderliegen, streuen sie einen großen Teil der Neutronen zurück in den Reaktor. Dieser wird für einen kurzen Moment überkritisch und emittiert einen kurzen Neutronenimpuls, dessen Intensität die von aktuellen Spallationsquellen übertrifft. Gegenwärtig experimentieren zwei deutsche Forschergruppen an diesem Reaktor.

Eine bemerkenswerte Tradition hat Dubna bei der Untersuchung seltener Teilchenzerfälle. Am 680-MeV-Zyklotron des Laboratoriums für Kernprobleme wurde z. B. 1962, etwa zeitgleich mit einem CERN-Experiment, der Beta-Zerfall eines geladenen Pions in ein neutrales Pion plus Elektron und Anti-Neutrino entdeckt (relative Zerfallswahrscheinlichkeit von nur 10^{-8}). Das war eine wichtige Bestä-

tigung der Theorie der schwachen Wechselwirkung. Heute kommt das grundlegend erneuerte Zyklotron bei der Protonentherapie und der Untersuchung der sog. Myon-Katalyse zum Einsatz. Damit hoffte man ursprünglich, eine Verschmelzung leichter Kerne zu erreichen, indem man Hüllenelektronen durch Myonen ersetzt. Das JINR, von Anfang an Vorreiter auf diesem Gebiet, hat inzwischen mit der „Chemie“ myonischer Atome und Moleküle ein neues Forschungsfeld eröffnet.

Geprägt durch Pontecorvo

Die internationale Ausstrahlung des Laboratoriums für Kernprobleme bleibt mit einem großen Namen verknüpft – Bruno Pontecorvo (Abb. 3)! Nachdem er 1950 unter mysteriösen Umständen in die UdSSR gegangen war, fand der gebürtige Italiener in Dubna eine neue Arbeitsstätte [2]. Dort entwickelte er z. B. das Konzept von Neutrino-Oszillationen [3]. Seine einzigartige Rolle für die Neutrinophysik beschreibt Frank Close treffend [4]. Pontecorvo prägte Dubna nicht nur in physikalischer Hinsicht. Mit seiner offenen, undogmatischen Einstellung war er ein erfrischendes Vorbild für Jüngere und setzte auch gelegentlich politische Hardliner matt. Unvergessen ist für mich (C. S.) die Szene, als mein damaliger

russischer Arbeitsgruppenleiter während der Verteidigung seiner Habilitation vordergründig mit fachlichen Argumenten angegriffen wurde. Hintergrund war aber, dass er in Dissidentenkreisen verkehrte. Pontecorvo stand auf und wischte den Angriff so nachdrücklich und verbindlich vom Tisch, dass es keine weitere Diskussion gab. Bei der Feier am Abend überreichte er dem Habilitierten ein kleines Plastikschwert mit den Worten: „Damit Sie sich auch weiterhin gegen alle Angriffe verteidigen können!“ Nach Pontecorvos Tod schuf das JINR den Pontecorvo-Preis, der seit 2005 führende internationale Wissenschaftler auf dem Gebiet der Neutrinophysik auszeichnet.

Auf Pontecorvos Tradition aufbauend engagiert sich das JINR gegenwärtig in mehreren Projekten zur Bestimmung der Neutrino-Eigenschaften bzw. in der Neutrinoastronomie. An einem Kernreaktor in der Stadt Twer unweit von Dubna finden zwei Experimente zur Bestimmung des magnetischen Moments des Neutrininos bzw. zur Suche nach „sterilen“ Neutrinos statt. Dubna ist auch an einigen Neutrino-Experimenten in Westeuropa und China beteiligt, z. B. am GERDA-Experiment. Am massivsten ist seit kurzem jedoch das Engagement für den „Gigaton Volume Detector“: Das große Neutrino teleskop im Baikalsee



Abb. 2 Georgi Flerov



Abb. 3 Bruno Pontecorvo

soll zukünftig zusammen mit dem KM3NeT-Detektor im Mittelmeer ein nördliches Gegenstück zu Ice-Cube am Südpol bilden.

Der 10-GeV-Beschleuniger im Laboratorium für Hohe Energien (Abb. 4) war von Anfang an ein Sorgenkind, obwohl er bei seiner Inbetriebnahme die höchste Energie weltweit lieferte. Wladimir Weksler, erster Direktor des Laboratoriums, hatte schon früher unabhängig von Edwin M. McMillan (Berkeley, USA) das Prinzip des Synchrotrons mit Phasenstabilisierung entwickelt, das ein Auseinanderlaufen der Teilchenpakete entlang der Strahlrichtung vermeidet. Der Bau des Synchrotrons in Dubna begann aber zu früh: Das Prinzip der „starken“ Fokussierung des Strahls senkrecht zu seiner Flugrichtung wurde in den USA erst später entwickelt. Die Fokussierung ermöglichte wesentlich kompaktere und effektivere Beschleuniger. So stellte das CERN den Entwurf des 24-GeV-Synchrotrons noch rechtzeitig um. Der dortige Projektleiter John Adams konnte daher am 24. November 1959 verkünden, den Energierekord des Dubna-Beschleunigers gebrochen zu haben. Dabei präsentierte er eine Wodka-Flasche, die ihm Weksler als Gratulation geschickt hatte.

Das JINR vermeldete 1960 die Entdeckung des Σ^- -Baryons, dessen Existenz das Quark-Modell wesentlich motivierte. Die Ergebnisse der folgenden Jahre waren aber eher unspektakulär. Dazu trug neben dem unzureichenden Betrieb des Synchrotrons auch die Tatsache bei, dass die Detektoren mangels ausreichender Finanzierung und wegen eines vergleichsweise schwach entwickelten technologischen Hinterlands ihren Konkurrenz-Experimenten im Westen deutlich unterlegen waren.

Von lang anhaltenden Kinderkrankheiten war auch das Nuklotron geplagt, eine der weltweit ersten supraleitenden Maschinen zur Beschleunigung von Ionen auf relativistische Geschwindigkeiten. Es wurde unter dem existierenden Synchrotron angeordnet und ging 1992 in Testbetrieb. Experimente

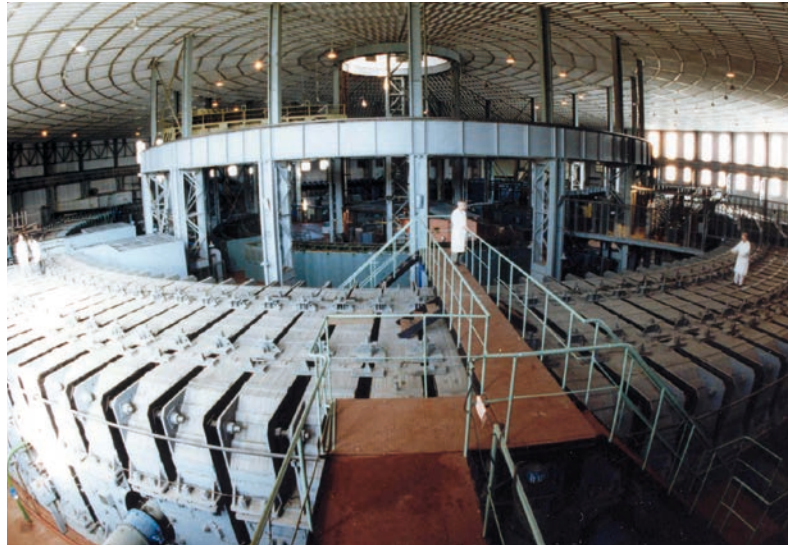


Abb. 4 Das Synchrophasotron beschleunigte Protonen auf Energien bis zu 10 GeV. Der Betrieb wurde 2003 eingestellt – hier entstehen die Vorbeschleuniger von NICA.

mit einem extrahierten Strahl starteten 2000. Inzwischen sind die anfänglichen Schwierigkeiten überwunden, und das Nuklotron soll als Beschleuniger für NICA (Nucleon-based Ion Collider Facility) fungieren, wobei das nun entkernte Synchrotron den Vorbeschleuniger beherbergen wird. Ziel dieses ambitionierten Projekts ist es, nach 2020 dichteste Zustände baryonischer Materie zu untersuchen, insbesondere den Phasenübergang von normaler Kernmaterie zum vermuteten Quark-Gluon-Plasma [5]. NICA ist in gewisser Weise ein kleinerer Verwandter von FAIR.

Mekka der theoretischen Physik

Die Sowjetunion hat schon immer durch geniale Theoretiker wie Lew Landau, Moisej Markow, Andrei Sacharow oder Jakow Seldowitsch gegläntzt. Zu ihnen gehörte auch der erste Direktor des Labors für Theoretische Physik (LTP) Nikolaj Bogoljubov (Abb. 5). Aus dem LTP stammen großartige Arbeiten zur Quantenfeldtheorie. Bogoljubov selbst hat grundlegende Beiträge zur Theorie der Supraleitung und Suprafluidität geleistet. Zusammen mit seinen Mitarbeitern hat er 1965, unabhängig von Han und Nambu, eine zusätzliche Quantenzahl der Quarks eingeführt, die im Rahmen der Quantenchromodynamik als

„Farbe“ bezeichnet wurde. Auch bei der Entwicklung der Supersymmetrie spielte das LTP eine wichtige Rolle. Das Labor galt unter den theoretischen Teilchenphysikern des Ostblocks als ein „Mekka der Physik“. Das „Landau-Heisenberg-Programm“ fördert bis heute die fruchtbare Zusammenarbeit deutscher Theoretiker mit dem LTP.

Das JINR bemühte sich von Anfang an, ein internationales Gesicht zu zeigen. Im Sommer 1964 fand erstmals eine große internationale Konferenz statt – umrahmt von einem großen Konzert im Kulturhaus und einer Wasserski-Vorführung von offensichtlich eigens aus Moskau herbeigeholten Sportlerinnen. Obwohl das JINR in vielen Beziehungen dem CERN nachstrebte, gelang es ihm niemals, dessen Internationalität zu erreichen. Während die Verfassung des CERN das Übergewicht eines einzelnen Staates verhindert, war dies bei JINR schon durch den Kostenbeitrag von 74 Prozent durch die UdSSR kaum möglich. Die DDR steuerte etwa neun Prozent bei, gefolgt von Polen und der Tschechoslowakei mit sechs bzw. vier Prozent. Außerdem war der Direktor des Gesamtinstituts bis 1989 stets ein Sowjetbürger – ebenso wie die Direktoren der Laboratorien. Wissenschaftler aus den Partnerländern stellten meist einen der beiden Vizedirektoren. Bei CERN gelten

dagegen für die Generaldirektoren und Direktoren sowie für das übrige Personal keine nationalen Quoten.

Das JINR hatte eine wichtige Funktion als Ausbildungsstätte einer neuen Generation von Kern- und Teilchenphysikern in den Ostblockstaaten. Bis Ende der 1980er-Jahre waren im Mittel etwa achtzig Physiker und Ingenieure aus der DDR am JINR beschäftigt. Für sie bedeutete ein Aufenthalt in Dubna nicht nur eine wissenschaftliche Erkundungsreise, sondern auch einen Ausbruch aus der Enge der kleinen DDR. Die Bekanntschaft mit der Lebenswirklichkeit Russlands – im Guten wie im Schlechten – und die persönlichen Freundschaften mit Menschen aus allen Völkern der UdSSR, mit Tschechen, Polen oder Ungarn haben viele der ostdeutschen Gastwissenschaftler nachhaltig geprägt.

Eine andere Welt

Dubna war eine Kleinstadt, in der man an Sommerabenden zusehen konnte, wie Bruno Pontecorvo Wasserski auf der Wolga fuhr oder Dmitri Shirkov, der Mitverfasser

eines der ersten Lehrbücher zur Quantenfeldtheorie, Tennis spielte. Man erlebte, wie Swjatoslaw Richter im Kulturhaus Beethovensonaten spielte oder ein Moskauer Regisseur seinen neuesten Film vorstellte. Der Aufenthalt in Dubna lud zu einem vertieften Eintauchen in die russische Literatur ein. Wer das Vertrauen der russischen Kollegen besaß und selbst neugierig bzw. unvorsichtig genug war, konnte Bekanntschaft mit der systemkritischen sowjetischen Untergrundliteratur machen. Dubna war für Physiker der DDR, die an gemeinsamen Experimenten von CERN und Dubna arbeiteten, ein Tor zum CERN und damit zu einer nochmals anderen Welt. Außerdem sammelten sie bei der Arbeit an Großforschungsgeräten wie jenen in Dubna Erfahrungen, die man in der DDR kaum machen konnte.

Der erste Vizedirektor des Gesamtinstituts aus der DDR war Heinz Barwich (1961 bis 64), der Gründungsdirektor des Zentralinstituts für Kernforschung in Rossendorf. Von 1973 bis 1976 hatte Karl Lanius vom Institut für Hochenergiephysik in Zeuthen diesen Posten inne. Schon damals machte sich die wachsende technologische Lücke zum Westen schmerzhaft bemerkbar. Als Dietmar Ebert (Universität Jena) 1989 dieses Amt übernahm, dauerte es nicht mehr lange bis zum Ende der DDR und kurz danach auch jenem der Sowjetunion. Der Niedergang der UdSSR hatte viele Probleme weiter verschärft. Ende 1989 beabsichtigte darum das DDR-Ministerium für Wissenschaft und Technik, die Mitgliedschaft zu kündigen. Es ist nicht völlig geklärt, was die Beamten im Januar 1990 von diesem Beschluss abbrachte: der kategorische Widerspruch von Ebert, der Druck der Russen oder die Einsicht, dass dieser Schritt eine Kettenreaktion einleiten würde. Nach der DDR hätten sich wahrscheinlich auch andere Nationen zurückgezogen. Auch zu der Unterstützung des JINR nach der deutschen Wiedervereinigung wäre es wahrscheinlich nicht gekommen.

Als internationales Institut der Sowjetunion genoss das JINR

besondere Privilegien. Die auswärtigen Mitglieder beobachteten während vieler Jahre die erheblichen Versorgungsschwierigkeiten in der Sowjetunion. Katastrophal wurde die Lage allerdings während des Zusammenbruchs der Sowjetunion, als für einige Zeit die staatlichen Autoritäten praktisch nicht mehr existierten und selbst die persönliche Sicherheit nicht mehr garantiert war.

Anschließend musste das JINR seine Rolle der neuen Lage anpassen: Einige Mitgliedstaaten traten aus, während ehemalige Teilrepubliken der Sowjetunion die Zahl der Mitgliedstaaten auf 18 erhöhten. Die Bundesrepublik Deutschland entschied sich zwar, die Mitgliedschaft der DDR nicht weiter zu führen. Ein spezieller Vertrag regelte aber, dass sie nach einer einmaligen Sonderzahlung mit drei Millionen DM pro Jahr den ursprünglichen Beitrag der DDR im Wesentlichen beibehalten würde. Der Beitrag wurde von nun an also in harter Währung geleistet. Die verantwortlichen deutschen Regierungsvertreter verzichteten auf hinderliche bürokratische Maßnahmen bei den Transfers. Diese Unterstützung hat in den 1990ern dem Begriff „Insel der Stabilität“ eine ganz neue Bedeutung verliehen: In einer völlig unterfinanzierten, zusammenbrechenden Forschungslandschaft war Dubna einer der wenigen Orte in Russland, an dem die zivile und die wissenschaftliche Infrastruktur noch funktionierten!

Die Gründung der Russischen Föderation führte zu einem neuen Ausrichten der Ziele und Arbeitsweise des JINR. So wurde 1990 beschlossen, dass das JINR seinen Charakter als internationales Zentrum verstärken soll. Neben die Grundlagenforschung sollte der Transfer der wissenschaftlichen Ergebnisse in die Industrie, Medizin und technische Gebiete treten. Die Leitungsfunktionen wurden nicht mehr nach Länderproporz, sondern nach fachlicher Qualifikation besetzt. Die Mitarbeiterzahl reduzierte sich von ehemals etwa 7000 auf 4500, wovon 1200 Wissenschaftliche Mitarbeiter und etwa



Abb. 5 Die Fahnen der Mitgliedsstaaten wehen über dem Eingang zum JINR-Verwaltungsgebäude. Besucher begrüßt eine Büste von Nikolaj Bogoljubov.

2000 ingenieurtechnisches Personal sind. Englisch wurde als zweite Amtssprache eingeführt, und der Wissenschaftliche Rat wurde stärker als früher mit internationalen Wissenschaftlern besetzt. Das JINR hat Beobachterstatus am CERN und im European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI), im Nuclear Physics European Collaboration Committee (NuPECC) und im Astroparticle Physics European Consortium (ApPEC) und hält enge Kontakte mit der International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wien und dem International Centre for Theoretical Physics in Triest.

JINR arbeitet nun verstärkt mit anderen Instituten zusammen. Experimente an Hochenergiebeschleunigern in Kollaboration mit anderen Gruppen gab es schon früher in Protvino südlich von Moskau, dazu auch Experimente am CERN, am DESY und an anderen Anlagen außerhalb Russlands. Beispielsweise baute das JINR in den 1970er-Jahren die Hälfte der Proportionalkammern für ein CERN-Experiment des späteren Nobelpreisträgers Carlo Rubbia. Heute beteiligt sich das JINR bei CERN an zwanzig Projekten. Außer Beiträgen zum LHC-Beschleuniger selbst haben sich Gruppen vom JINR an der Entwicklung und der Konstruktion von Teilen der drei Experimente ATLAS, CMS und

ALICE beteiligt. Das Rechenzentrum des JINR ist ein wichtiger regionaler Knoten im LHC-Grid. Mit Deutschland bestehen aktive Zusammenarbeiten mit den Forschungszentren der Helmholtz-Gemeinschaft (insbesondere DESY, GSI, Jülich, Karlsruhe und Rossendorf). Daneben gibt es bilaterale Projekte in der Theorie, gefördert durch das Heisenberg-Landau-Programm und Kooperationsverträge für Sommerschulen.

So hat nach sechs zum Teil schwierigen Jahrzehnten und manchen Wandlungen das JINR zu seiner eigentlichen Bestimmung zurückgefunden: Heute ist es ein internationales Zentrum, das Forschung und Technologie fördert und die akademische Ausbildung

unterstützt. Unter veränderten Bedingungen hat das JINR eine wichtige Brückenfunktion zwischen Staaten verschiedener Traditionen und politischer Gegebenheiten übernommen. So kann das JINR mit Zuversicht in die nächsten 60 Jahre sehen.

Literatur

- [1] S. Paul, *Physik Journal*, Mai 2015, S. 23
- [2] S. Turchetti, *Physik Journal*, Oktober 2013, S. 43
- [3] G. Drexlin, M. Lindner und C. Weinheimer, *Physik Journal*, Dezember 2015, S. 24
- [4] F. Close, *Neutrino*, Springer, 2012
- [5] K. Yagi, T. Hatsuda und Y. Miake, *Quark-Gluon Plasma*, Cambridge University Press, 2005

DIE AUTOREN

Christian Spiering

(FV Teilchenphysik) studierte Physik an der HU Berlin, promovierte dort 1974 und arbeitete danach vier Jahre als Postdoktorand am JINR in Dubna. Bis zu seiner Pensionierung 2013 war er Leiter der Gruppe Neutrinoastrophysik bei DESY Zeuthen. Ehemals Sprecher des IceCube-Experiments, koordiniert er heute das Global Neutrino Network. 2006 wurde er mit dem Markov-Preis der russischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet.



Herwig Schopper (FV

Teilchenphysik und Geschichte der Physik) studierte Physik und promovierte an der U Hamburg. Er wurde in Erlangen habilitiert und hatte Professuren in Mainz, Karlsruhe und Hamburg inne. Schopper war Direktor von DESY und Generaldirektor von CERN, Präsident von DPG und EPS sowie langjähriges Mitglied des Wissenschaftlichen Rates von JINR. Er ist u. a. Mitglied der Akademie Leopoldina, besitzt mehrere Ehrendoktoren und erhielt z. B. die UNESCO Albert Einstein Gold Medaille.

