



MPIK-NEWS

Liebe Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter,
Ehemalige und Freunde des MPIK,



seltene, besondere, wie auch kurze Ereignisse spielen in der Physik eine große Rolle, wie Sie auf den folgenden Seiten lesen können. Und auch im Institutsleben gibt es seltene Ereignisse, die ein kurzes

Blitzlicht auf große Leistungen und Perspektiven werfen: Werner Hofmann bleibt dem MPIK nach rund 31 Jahren wissenschaftlicher und leitender Tätigkeit zum Glück weiterhin als Emeritus erhalten. Alles Gute für den Ruhestand wünschen wir unserer langjährigen Fachkraft für Arbeitssicherheit, Ruth Alberts. Gleichzeitig heißen wir freudig Brian Reville willkommen, der mit seiner neuen Theorie-Forschungsgruppe den Rätseln um hochenergetische Bewegungen im Universum nachspürt.

Hochenergetisch und in kollegialer Zusammenarbeit stellen sich bei unserer aller Arbeit nicht immer, aber bei genügend Ausdauer immer wieder Erfolge ein, die uns nicht nur persönlich, sondern das ganze Institut voran bringen.

Dafür herzlichen Dank,

Ihr

Prof. Dr. Thomas Pfeifer
(Geschäftsführender Direktor)

In dieser Ausgabe

- Extrem seltene Elementumwandlung..... 1
- Der Zeit atomarer Vorgänge auf der Spur 2
- Laserblitze für polarisierte Elektronen- und Positronenstrahlen..... 2
- Kurzmeldungen 3
- Neue Gruppe „Theorie astrophysikalischer Plasmen“ 4
- Namen & Notizen..... 4
- Verabschiedung von Ruth Alberts..... 4

Extrem seltene Elementumwandlung

Die Halbwertszeit des doppelten Elektroneneinfangs von Xenon-124 ist eine Billion mal länger als das Alter des Universums.

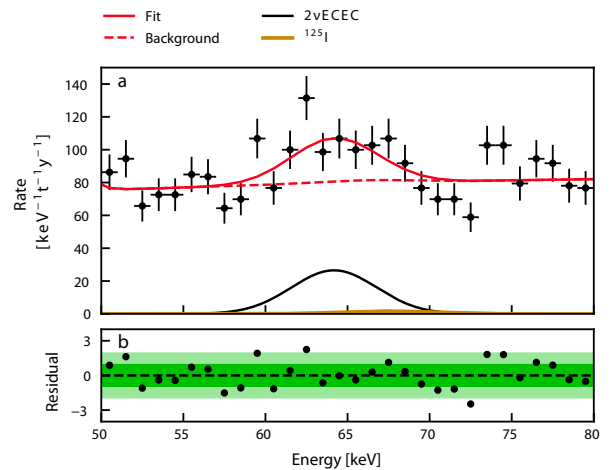
Manche Atomkerne, z. B. das Xenonisotop mit der Masse 124, können gleichzeitig 2 Elektronen aus ihrer Elektronenhülle einfangen. In diesem extrem seltenen Prozess wandeln sich zwei der 54 Protonen im ¹²⁴Xe-Kern in Neutronen um, sodass aus Xenon Tellur wird. Den größten Teil der frei werdenden Energie tragen zwei dabei entstehende Neutrinos davon. Da die eingefangenen Elektronen aus der untersten Elektronenschale stammen, fallen in der Folge Elektronen aus höheren Energieniveaus nach unten, wobei Röntgenlicht bzw. Elektronen aus den höchsten Niveaus ausgesandt werden.

Mit dem XENONIT-Detektor (s. MPIK-NEWS Nr. 16 und 18) gelang es nun, diesen Prozess nachzuweisen und seine Halbwertszeit zu messen. Sie beträgt unvorstellbare $1,8 \times 10^{22}$ Jahre – das ist rund eine Billion Mal länger als das Alter des Universums! Und es ist die längste jemals direkt gemessene Halbwertszeit.

Aber wie konnte die XENON-Kollaboration eine derart exorbitant lange Zeit messen? Halbwertszeit bedeutet, dass sich innerhalb dieser Zeit die Hälfte der vorhandenen ¹²⁴Xe-Atome in ¹²⁴Te-Atome umwandelt. Wann das ein einzelnes Atom tut, ist rein zufällig und kann jederzeit geschehen. Das Rezept lautet also: Man nehme sehr viel Xenon, benutze einen hochempfindlichen Detektor und schütze diesen so gut wie nur irgend möglich vor Allem, was das Signal überdecken kann. Die übrig bleibenden Störeinflüsse muss man zudem genau kennen und bei der Datenanalyse berücksichtigen.

Über ein ganzes Jahr lang speicherte das Datenerfassungssystem von XENONIT alle Signale. Die Daten im inte-

ressanten Energiebereich waren zunächst verdeckt und wurden erst nach einer gründlichen Analyse unter Zuhilfenahme zahlreicher Kalibrationsmessungen aufgedeckt; dann war klar: Der spannende Energiebereich enthält ein Signal, das nur vom doppelten Elektroneneinfang des Xenon-124 stammen kann.



Die Messdaten rund um den Energiebereich des doppelten Elektroneneinfangs in Xenon-124 (schwarze Punkte mit Fehlerbalken). Aus dem Fit (rote Kurve) ergibt sich unter Berücksichtigung der Störsignale (gestrichelte rote Linie und hellbraune Linie) das gesuchte Signal (schwarze Kurve). Unten die Abweichungen der Messwerte vom berechneten Spektrum.

Diese erfolgreiche Messung demonstriert die hervorragende Eignung von XENONIT und ähnlicher Dunkle-Materie-Detektoren für die Suche nach anderen äußerst seltenen Prozessen in der Neutrinophysik. So eröffnet sich auch die Möglichkeit, nach dem hypothetischen und noch wesentlich selteneren doppelten Elektroneneinfang ohne Emission von Neutrinos zu suchen. Dessen Entdeckung würde beweisen, dass Neutrinos mit ihren Antiteilchen identisch sind und es ermöglichen, ihre absolute Masse zu bestimmen.

Kontakt: Manfred Lindner, Teresa Marrodán Undagoitia, Hardy Simgen
Publikation: First observation of two-neutrino double electron capture in ¹²⁴Xe with XENON1T, XENON-Collaboration, Nature 568, 7753, 532–535, doi: 10.1038/s41586-019-1124-4

Der Zeit atomarer Vorgänge auf der Spur

Test theoretischer Modelle liefert wichtigen Beitrag zur Messung ultrakurzer atomarer Vorgänge.

Welche Rolle spielt die Zeit in der Quantenwelt? In den Formeln ist sie lediglich ein Parameter, also keine „echte“ Messgröße. Dennoch gibt es Ansätze, zeitabhängige Vorgänge im Mikrokosmos theoretisch und experimentell zu erfassen.

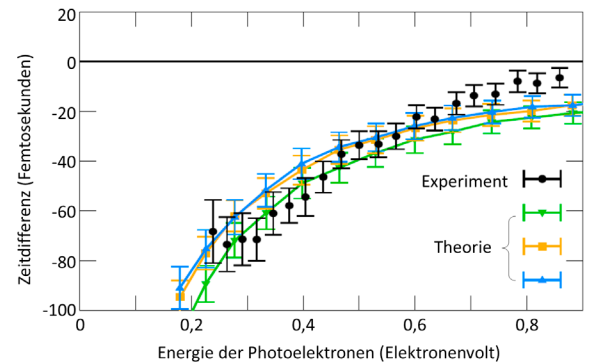
Ein solcher Prozess ist die Photoionisation: Ein Photon trifft auf ein Atom und „kickt“ ein Elektron heraus. Es wird bis heute kontrovers diskutiert, wieviel Zeit („EWS-Zeit“) dieser Prozess braucht und ob dies messbar ist. Für die Messung derart ultraschneller Vorgänge verwenden Forscher seit einigen Jahren erfolgreich die Methode des Attosekunden-Streaking. Dem ionisierenden Ultraviolett-Laserblitz wird ein zweiter langwelliger (z. B. Infrarot) Laserpuls zeitlich variabel überlagert, dessen Wellenform genau kontrollierbar ist. Im Laserfeld erfährt nun das Photoelektron je nach Zeitpunkt seiner Freisetzung eine Beschleunigung oder Verzögerung. Die Messung seiner Geschwindigkeit erlaubt somit einen Rückschluss auf die zeitliche Verschiebung gegenüber dem auslösenden UV-Laserpuls.

Allerdings spürt das herauslaufende Elektron die elektrische Anziehung

(Coulomb-Kraft) des zurückbleibenden positiv geladenen Ions; auch das Streaking-Laserfeld beeinflusst die Bewegung des Elektrons, was beides zu zusätzlichen Zeitdifferenzen führt. Die Theorie erlaubt eine universelle Behandlung dieser Coulomb-Laser-Kopplung. Zwar erscheint das Ion bei großen Abständen wie eine Punktladung, d. h. von außen sehen alle Ionen bei bekannter Ladung gleich aus, die EWS-Zeit hingegen wird allein durch die innere Struktur des Atoms bzw. Ions bestimmt. Ferner sollte nur die Wellenlänge des Streaking-Lasers, nicht aber dessen Intensität eine Rolle spielen.

Die Coulomb-Laser-Kopplung ist umso stärker, je größer die Wellenlänge des Streaking-Lasers und je langsamer die Photoelektronen sind. Um das zu testen wurde die Photoionisation von Neon untersucht und für das Streaking langwellige Terahertz-Laserpulse verwendet. Zur Messung der Geschwindigkeit der Photoelektronen diente ein Reaktionsmikroskop. Es lassen sich drei Ionisationskanäle unterscheiden, zwei mit recht schnellen Photoelektronen, sowie recht langsame Elektronen, die beim Weg aus dem Neon-Atom durch interne Kollision mit einem

anderen Elektron einen zusätzlichen Energieverlust erleiden. Durch Auswahl verschiedener Geschwindigkeitsklassen der langsamen Photoelektronen gelang es, die Zeitdifferenzen gegenüber dem Streaking der schnellen Elektronen zu bestimmen. Diese stimmen gut mit verschiedenen theoretischen Modellen überein und bestätigen das gegenwärtige Verständnis der Laser-Coulomb-Kopplung.



Experimentell bestimmte Zeitdifferenz zwischen den langsamen und schnellen Photoelektronen im Vergleich mit theoretischen Modellen.

Kontakt:

Robert Moshhammer, Thomas Pfeifer
Publikation: Terahertz field induced time shifts in atomic photoemission, *Physical Review Letters* 122, 073001 (2019), doi:10.1103/PhysRevLett.122.073001

Laserblitze für polarisierte Elektronen- und Positronenstrahlen

Simulationsrechnungen zeigen neue Verfahren zur effizienten Polarisation.

Elektronen und Positronen haben einen Spin; Polarisation beschreibt die Richtung der Drehachse. Es ist allerdings sehr schwierig, die gewünschte Spinausrichtung zu präparieren.

Nun wurde eine neue Methode vorgeschlagen, mit der sich relativistische, unpolarisierte Elektronenstrahlen durch Beschuss mit intensiven polarisierten Laserpulsen in Teilstrahlen mit entgegengesetztem Spin trennen lassen. Monte-Carlo-Simulationsrechnungen, in denen ein Paket relativistischer Elektronen einem polarisierten hochintensiven Laserblitz

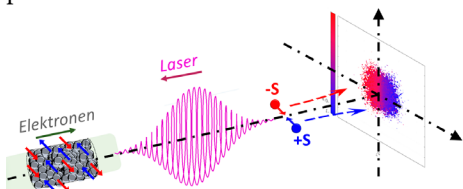
entgegenläuft, ergaben, dass für leicht elliptisch polarisiertes Licht der Elektronenstrahl in Richtung des kleinen Durchmessers der Polarisationsellipse in zwei Komponenten mit jeweils entgegengesetztem Spin aufspaltet (Polarisationsgrad bis zu 70%). Zugrunde liegt dem die Strahlungsrückwirkung. Die Elektronen werden im Laserfeld hin- und hergetrieben, und diese Bewegung führt zur Abstrahlung von Lichtquanten, die zudem von der Spinrichtung abhängt. Hierbei erfährt das Elektron einen kleinen Rückstoß, was seine Bewegungsrichtung ändert.

Zur Herstellung polarisierter Positronenstrahlen wird den relativistischen Elektronen ein asymmetrisch linear polarisierter Laserpuls entgegen geschossen, dessen Feld in einer Richtung deutlich stärker ist. Dies lässt sich durch Überlagerung zweier Laserpulse verschiedener Farbe erreichen. Die Wechselwirkung der energiereichen Elektronen mit dem hochintensiven Laserfeld erzeugt Elektron-Positron-Paare, die in Richtung bzw. entgegen dem Magnetfeld des Lasers polarisiert sind.

Wie außerdem „Particle-in-Cell“-Simulationen zeigen, sollten sich hochintensive polarisierte Elektronenstrahlen durch Beschuss eines polarisierten Gastargets sehr hoher Dichte mit einem hochintensiven Laser erzeugen lassen. Es bildet sich ein Plasma, worin sich Störungen wellenförmig ausbreiten und quasi in deren „Kielwasser“ Elektronen unter Erhalt der Polarisation auf hohe Energien beschleunigt werden.

Kontakt: Karen Hatsagortsyan, Matteo Tamburini, Christoph Keitel

Publikationen: Ultrarelativistic electron-beam polarization in single-shot interaction with an ultraintense laser pulse, *Physical Review Letters* 122, 154801 (2019), doi:10.1103/PhysRevLett.122.154801
 Polarized positron beams via intense two-color laser pulses, arXiv:1904.04110
 Polarized laser-wakefield-accelerated kiloampere electron beams, *Physical Review Letters* 122, 214801 (2019), doi:10.1103/PhysRevLett.122.214801



Schema zur Spintrennung eines relativistischen Elektronenstrahls mit einem elliptisch polarisierten Laserpuls.

+ + + Kurzmeldungen + + +

H.E.S.S. geht in die Verlängerung

Das Führungsgremium von H.E.S.S. hat beschlossen, den Betrieb der fünf Tscherenkow-Teleskope um mindestens 3 weitere Jahre über 2019 hinaus zu verlängern. Diese Entscheidung fiel mit Blick auf das junge Feld der Multi-Messenger- und der Multiwellenlängen-Astronomie. So wird H.E.S.S. bis zur Inbetriebnahme von CTA den südlichen Himmel im hochenergetischen Gammalicht als alleiniges Instrument weiterbeobachten. In der Verlängerungszeit sollen zeitlich schnell veränderliche Quellen und Gammastrahlenausbrüche in den Fokus der Forschung mit H.E.S.S. rücken. Deshalb erhält das zentrale, große Teleskop eine leistungsfähigere Kamera neuester Bauart. Diese basiert auf der für die mittelgroßen Teleskope von CTA entwickelten, voll digitalen Hochgeschwindigkeits-Kamera FlashCam. Das erfordert umfangreiche Arbeiten an Elektronik und Software zur Anbindung der Kamera an das Trigger- und Datennahmesystem von H.E.S.S., sowie zur mechanischen Integration in das Teleskop. Der Einbau soll in diesem Herbst erfolgen.

Kontakt: Werner Hofmann, German Hermann, Felix Werner
Meldung vom 04.02.2019

Polarisiertes Licht von Gammablitz

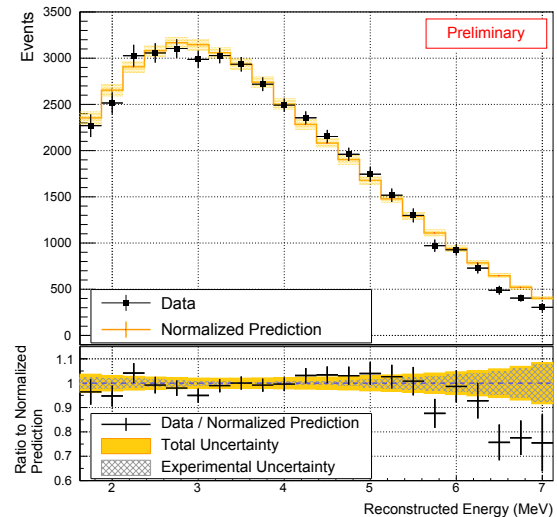
Bei Beobachtungen des optischen Nachglühens eines Gammastrahlenausbruchs (GRB-121024A) stellte sich überraschenderweise heraus, dass das Licht zirkular polarisiert war – üblicherweise ist die Strahlung linear polarisiert. Simulationsrechnungen haben nun gezeigt, wie dieses Phänomen zustande kommen kann. Gammastrahlenausbrüche entstehen, wenn massereiche Sterne kollabieren oder kompakte Objekte verschmelzen. Die frei werdende Energie wird in Form von Jets entlang der Rotationsachse abgestrahlt. Diese bestehen aus relativistischen Elektronen und Positronen mit zunächst identischen Energieverteilungen und breiten sich im umgebenden Elektronen-Ionen-Plasma aus. Im äußeren Magnetfeld verursacht die entgegengesetzte Ladung der Elektronen und Positronen signifikante Unterschiede in deren Energieverteilungen, wodurch zirkular polarisierte Synchrotronstrahlung entsteht. Der Polarisationsgrad hängt ab vom Dichteverhältnis des Elektronen-Positronen-Strahls zum Plasma sowie der Magnetfeldstärke. Der vorgeschlagene Mechanismus kann die beobachteten Anteile von zirkular und linear polarisiertem Licht erklären und sollte sich in Laborexperimenten überprüfen lassen.

Kontakt: Christoph Keitel, Naveen Kumar, Ujjwal Sinha

Viertes Neutrino unwahrscheinlicher

Verschiedene experimentelle Ergebnisse lassen sich mit der Existenz eines vierten Neutrinos besser erklären. Mit einer Masse im Bereich von 1 eV wäre dieses „sterile Neutrino“ schwerer als die drei bekannten Neutrinoarten. Die neuesten Ergebnisse des STEREO-Experiments schließen den größten Teil der wahrscheinlichsten Parameter eines hypothetischen vierten Neutrinos jedoch aus. Außerdem gelangen absolute Messungen der Rate und des Energiespektrums von Reaktorneutrinos. Aufgrund der hohen Anreicherung von ^{235}U im ILL-Reaktorkern misst STEREO praktisch nur Neutrinos aus der Spaltung dieses Isotops. Aus den neuesten Daten ließ sich die absolute Rate dieser Neutrinos bestimmen, und das STEREO-Experiment präsentierte eine der präzisesten Messungen für diesen Parameter.

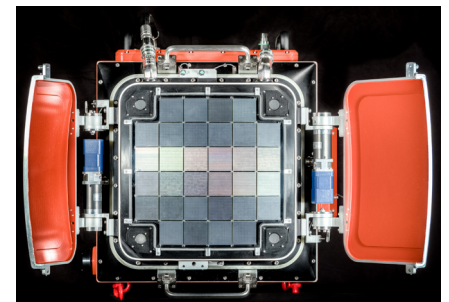
Kontakt: Manfred Lindner, Christian Buck
Meldung vom 21.03.2019



Gemessenes Energiespektrum der Neutrinos im Vergleich zum für ^{235}U berechneten, unten die relativen Abweichungen.

Erster Einsatz von CHEC-S erfolgreich

Der Kameraprototyp „CHEC-S“ für die kleinen Tscherenkow-Teleskope von CTA kam Ende April zu seinem ersten Einsatz. Nach dem Einbau in das „ASTRI-Horn“-Teleskop am Ätna in Sizilien war die Kamera sofort einsatzbereit und beobachtete ihre ersten Teilchenschauer. Ohne Nachjustieren der Teleskop-Optik waren die Bilder klar und scharf. Ausgiebige Tests zeigten, dass die Kamera funktioniert wie sie soll und hervorragend zu diesem Teleskoptyp passt. CHEC-S ist mit 2048 Pixeln aus Silicium-Lichtsensoren bestückt, die es ermöglichen, nicht nur wie bisherige Tscherenkow-Kamerabilder, sondern auch Filme der Teilchenschauer mit einer zeitlichen Auflösung von einer Nanosekunde aufzunehmen. So ist unmittelbar zu erkennen, aus welcher Richtung das Tscherenkowlicht kam.



Die CHEC-S-Kamera im Labor.

Kontakt: Jim Hinton, Richard White
Meldung vom 24.05.2019

Erste Resultate von ALPHATRAP

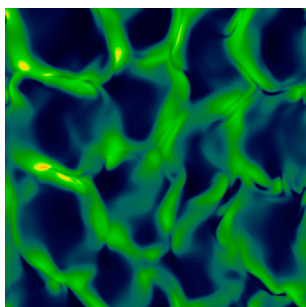
Die magnetischen Eigenschaften von hochgeladenen Ionen eignen sich für Tests der Quantenelektrodynamik. Für die Messung an einzelnen dreizehnfach geladenen Argon-Ionen kam erstmals die doppelte Penning-Ionenfalle ALPHATRAP zum Einsatz. Dank der hohen Präzision und Stabilität des gesamten Aufbaus aus Präzisions- und Analysefalle gelang es mittels der „Spin-Flip“-Methode, den g -Faktor auf 9 Stellen genau zu bestimmen. Parallele Neuberechnungen des g -Faktors, wobei neben QED-Beiträgen auch die Wechselwirkung mit den übrigen vier Elektronen und der Rückstoß des Atomkerns Berücksichtigung fanden, lieferten eine Genauigkeit von sieben Stellen. Der theoretische Wert stimmt auf diesem äußerst präzisen Niveau hervorragend mit dem experimentellen Resultat überein.

Kontakt: Sven Sturm, Zoltán Harman, Christoph Keitel, Klaus Blaum

Neue Gruppe „Theorie astrophysikalischer Plasmen“

Seit Anfang Mai baut Dr. Brian Reville am MPIK die neue Max-Planck-Forschungsgruppe „Theorie astrophysikalischer Plasmen (TAP)“ auf. Die Gruppe wird eng mit der Abteilung von Jim Hinton zusammenarbeiten und sich mit offenen Fragen der Hochenergie-Astrophysik beschäftigen. Dabei liegen die Schwerpunkte

auf Teilchenbeschleunigung und dem Ursprung der kosmischen Strahlung. Diese Themen haben einen direkten Bezug zu den Hochenergie-Experimenten H.E.S.S., CTA und HAWC, an denen die Abteilung Hinton mitwirkt. Außerdem wird die neue Gruppe theoretische und numerische Modelle hochenergetischer astrophysikalischer Prozesse entwickeln, um bestehende Vorhersagefähigkeiten zu verbessern und neue Modelldaten



Berechnungen des turbulenten Magnetfeldes im Vorfeld einer Schockwelle.

zu generieren. Seine Zusammenarbeit mit internationalen, experimentelle Laborastrophysik betreibenden Gruppen wird Brian Reville ebenfalls fortsetzen. Dieses wachsende Gebiet identifiziert bestimmte astrophysikalisch relevante Prozesse und studiert sie unter kontrollierten Bedingungen im Labor, beispielsweise an Hochleistungs-Laseranlagen.

Brian Reville studierte am University College Dublin und promovierte dort 2007 in Hochenergie-Astrophysik. Anschließend wechselte er an das MPIK, wo er als Humboldt-Stipendiat in der Gruppe von John Kirk arbeitete, bevor er 2010 eine weitere Postdoc-Stelle am Clarendon Laboratory in Oxford bei Prof. A.R. Bell antrat. 2013 wurde er als Lecturer an das Centre for Plasma Physics an der Queen's University Belfast berufen.



Namen & Notizen

Preise und Ehrungen

Prof. Dr. Klaus Blaum: Auswärtiges Mitglied der Physikklasse der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften, Advanced Grant des Europäischen Forschungsrats

Dr. Andreas Mooser: IUPAP Young Scientist Prize in Atomic, Molecular and Optical Physics 2019

Verabschiedung von Ruth Alberts

Im April hat sich Ruth Alberts, unsere langjährige Fachkraft für Arbeitssicherheit, in den Ruhestand verabschiedet. Bereits 1990 ans MPIK gekommen, hatte sie diese Funktion nach einer entsprechenden Weiterbildung seit 2006 inne. Zu der Feier hatte sie zahlreiche Institutsmitglieder und Ehemalige eingeladen. Im offiziellen Teil sprachen Günter Sparn, Ralf Lackner, ihr Nachfolger Albrecht Nees und sie selbst. Viele der zahlreichen Geschenke spielten auf ihre Tätigkeit an oder sollten es ihr erleichtern, mit dem MPIK in Verbindung zu bleiben bzw. sich an ihre Zeit dort zu erinnern.



Vorschau: Nacht der Forschung Heidelberg/Mannheim 27.09.2019 – auch am MPIK!

Impressum

Herausgeber:
Redaktion:

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg · info@mpi-hd.mpg.de
Dr. Bernold Feuerstein, Dr. Gertrud Hönes