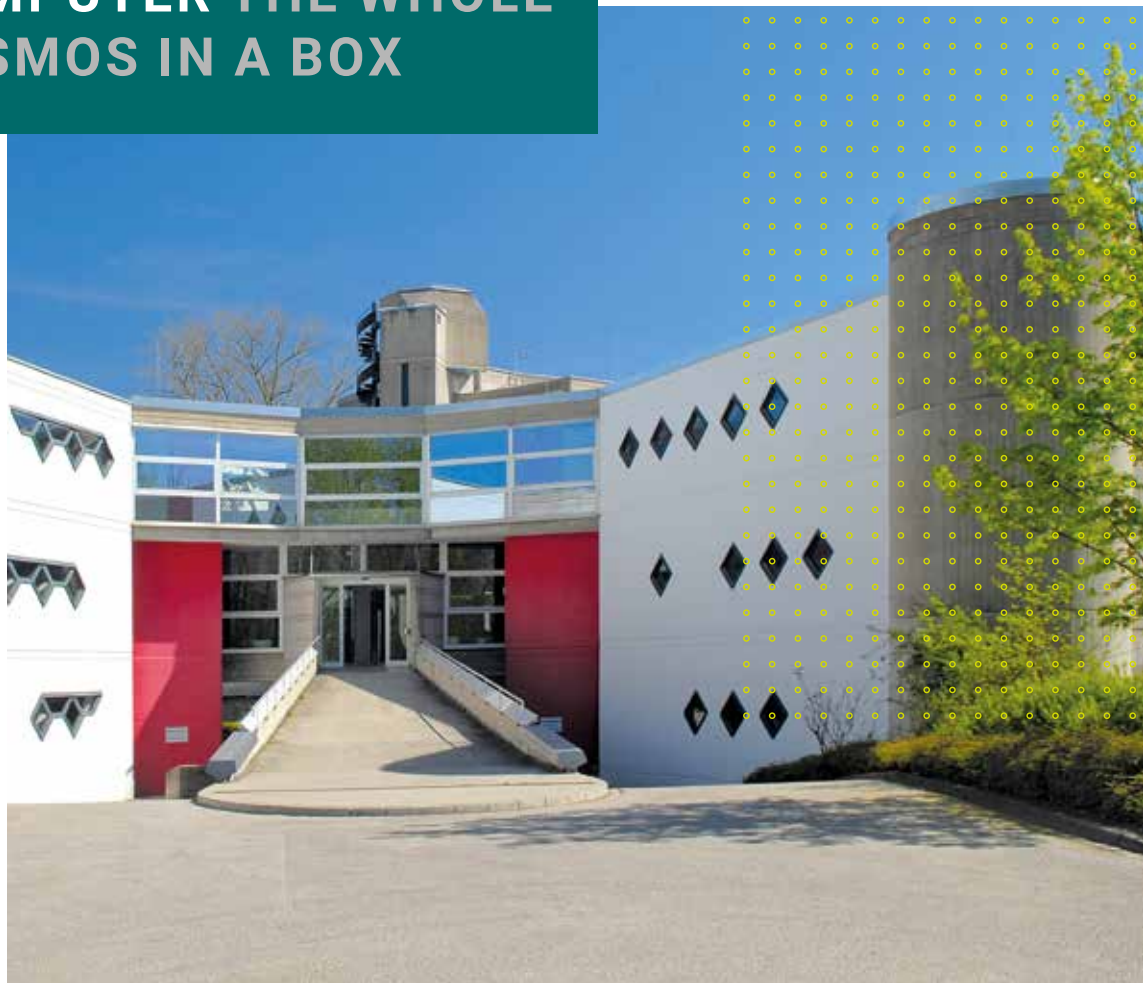
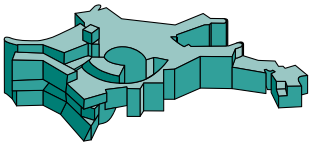
MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR ASTROPHYSIK

DER KOSMOS IM COMPUTER THE WHOLE COSMOS IN A BOX



MAX PLANCK INSTITUTE
FOR ASTROPHYSICS



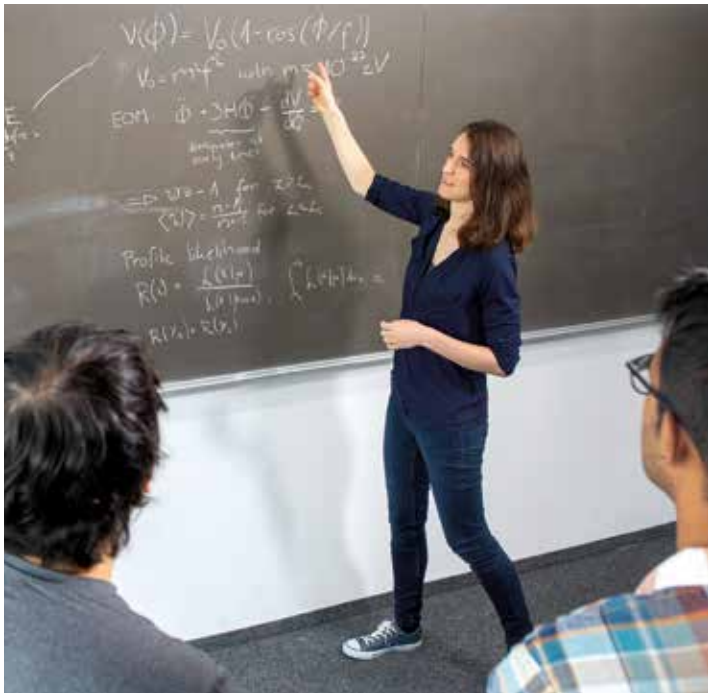
DAS UNIVERSUM ENTSCHLÜSSELN

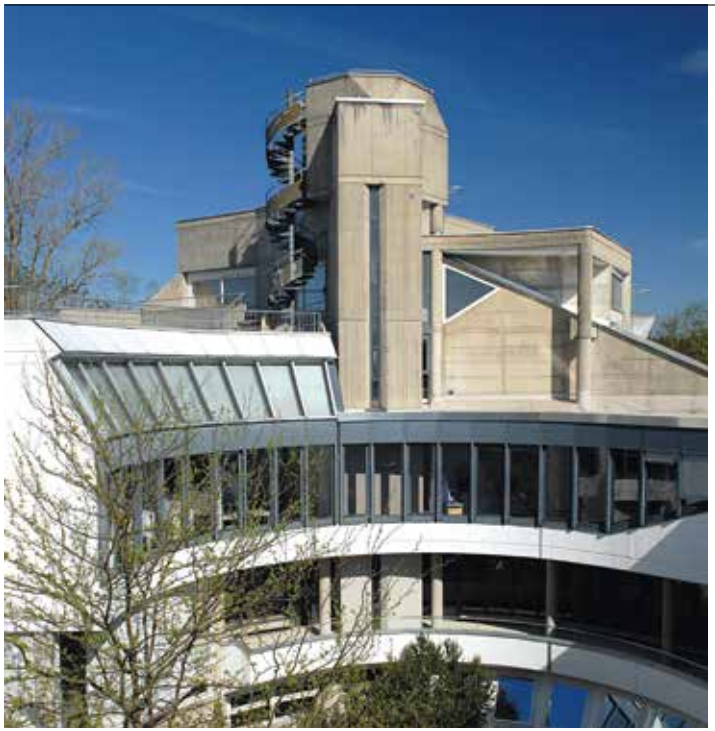
Das Max-Planck-Institut für Astrophysik (MPA) ist ein weltweit führendes Zentrum für theoretische Astrophysik. Seit seiner Gründung im Jahr 1958 verbindet das MPA theoretische Erkenntnisse, fortschrittliche Computersimulationen und die Auswertung astronomischer Daten nahtlos miteinander, um die Geheimnisse des Universums zu entschlüsseln. Von der Entstehung und Entwicklung von Sternen und Galaxien bis hin zur gewaltigen Ausdehnung des Kosmos selbst – die Forschungsarbeiten des MPA erstrecken sich über die gesamte kosmische Geschichte.

Im Mittelpunkt der Forschung steht der Einsatz modernster numerischer Simulationen zur Modellierung komplexer astrophysikalischer Prozesse, die sich unter Laborbedingungen nicht nachstellen lassen. Unter Nutzung einiger der weltweit leistungsstärksten Supercomputer simulieren die Wissenschaftler:innen des MPA Phänomene, die von der gewaltsamen Entstehung und dem explosiven Tod massereicher Sterne bis hin zur Entwicklung von Galaxien sowie der großräumigen Struktur des Universums reichen.

Mithilfe ausgefeilter theoretischer Modelle interpretieren sie Beobachtungen einer Vielzahl von Teleskopen auf der Erde und im All, darunter DESI, HETDEX, LOFAR, PFS, Hubble, James Webb, Euclid und eROSITA. Durch die Integration dieser Modelle mit Daten aus großen Durchmusterungsprojekten überprüfen die Forscher:innen am MPA grundlegende physikalische Prinzipien, erforschen die Natur von dunkler Materie und dunkler Energie sowie die Ursprünge der kosmischen Struktur.

Der interdisziplinäre Ansatz des Instituts fördert die Zusammenarbeit zwischen Expert:innen aus den Bereichen Sternphysik, Galaxienentstehung, Kosmologie und computergestützten Methoden. Darüber hinaus erleichtert das umfangreiche Gästeprogramm des MPA den Austausch mit Fachleuten aus aller Welt und ermöglicht es den Forschenden, tiefgreifende wissenschaftliche Fragen zu ergründen. Wie entstand das Universum? Was ist die Natur von dunkler Materie und dunkler Energie? Wie entstehen Sterne und Galaxien, wie entwickeln sie sich weiter und wie interagieren sie miteinander?


$V(\phi) = V_0(1-\cos(\phi/f))$
EOM
Profile likelihood



EXPLORING THE UNIVERSE

The Max Planck Institute for Astrophysics (MPA) is a world-leading center for theoretical astrophysics. Since its establishment in 1958, MPA has seamlessly integrated theoretical insights, advanced computational simulations, and the interpretation of astronomical data to unravel the mysteries of the universe. From the birth and evolution of stars and galaxies to the vast expansion of the cosmos itself, MPA's research endeavors span the entire cosmic timeline.

At the heart of MPA's research lies the use of cutting-edge numerical simulations to model intricate astrophysical processes that cannot be replicated in laboratory settings. Leveraging some of the most world's powerful supercomputers, MPA scientists simulate phenomena ranging from the violent birth and explosive deaths of massive stars to the formation and evolution of galaxies and the large-scale structure of the universe.

Sophisticated theoretical models are employed to interpret observations from an array of ground and space telescopes, including DESI, HETDEX, LOFAR, PFS, Hubble, James Webb, Euclid, and eROSITA. By integrating these models with data from major surveys, researchers at MPA test fundamental physics, probing the nature of dark matter and dark energy, and the origins of cosmic structure.

The institute's interdisciplinary approach fosters collaboration among experts in stellar physics, galaxy formation, cosmology, and computational methods. Additionally, MPA's vibrant guest program facilitates the exchange of ideas with specialists worldwide, enabling scientists to tackle profound questions in science: How did the universe begin? What is the nature of dark matter and dark energy? How do stars and galaxies form, evolve, and interact?

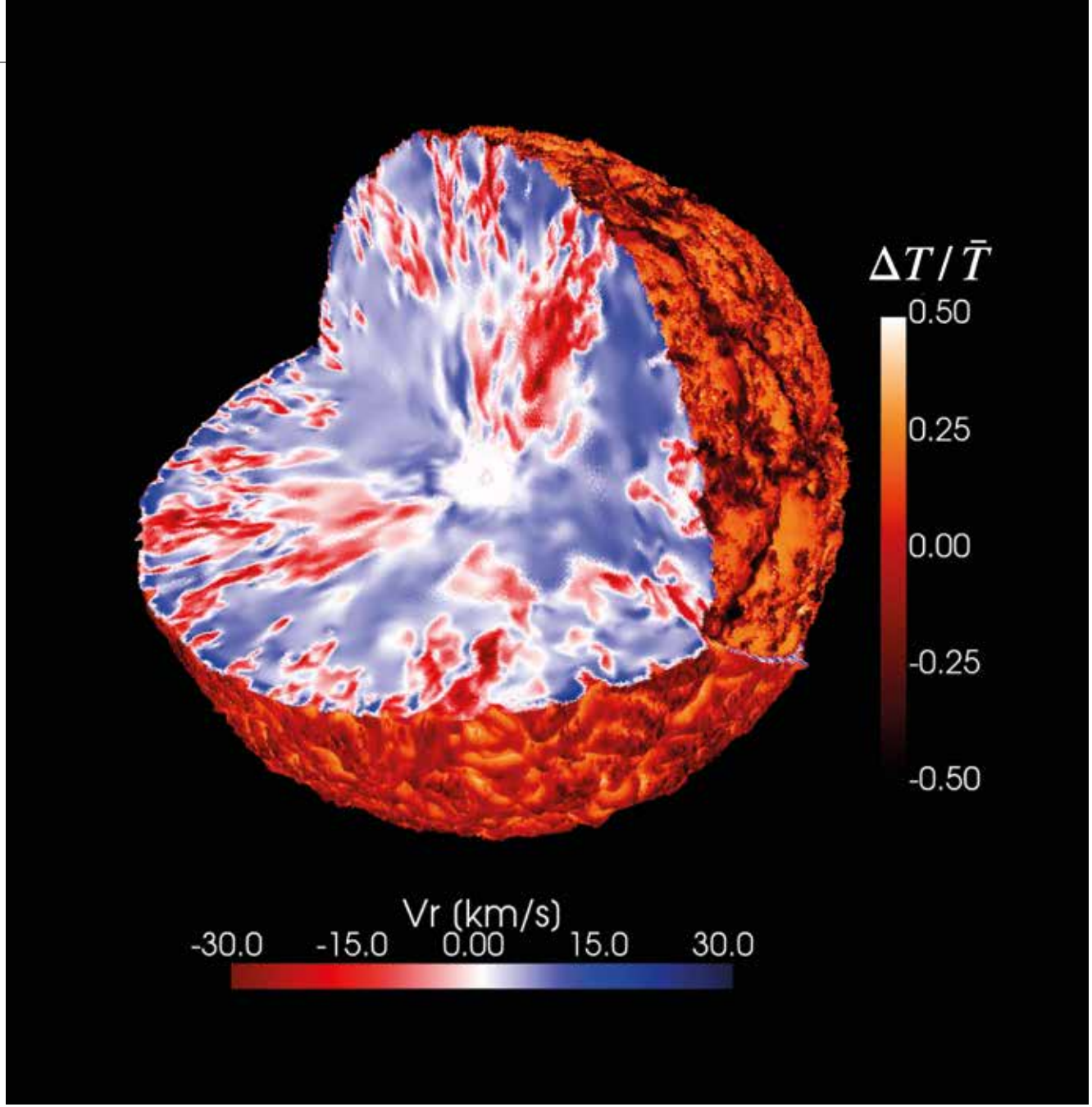
DAS LEBEN DER STERNE
THE LIVES OF STARS

Rote Überriesen sind massereiche Sterne, die sich dem Ende ihres Lebens nähern. Das Verständnis ihres Massenverlusts vor der Explosion als Supernova ist entscheidend für die Modellierung der Sternentwicklung und der chemischen Anreicherung von Galaxien. Mithilfe des revolutionären Simulationsprogramms AREPO-IDORT modellieren Forschende des MPA präzise, wie sich Licht durch die turbulenten, konvektiven Hüllen dieser Sterne ausbreitet. Zum ersten Mal gelang es, die vollständige 3D-Struktur der äußeren Schichten eines roten Überriesen zu simulieren und dabei komplexe, asymmetrische Gasströmungen sowie großräumige Konvektionszellen aufzudecken.

Red supergiants are massive stars nearing the end of their lives. Understanding their mass loss before exploding as supernovae is crucial for modeling stellar evolution and the chemical enrichment of galaxies. Using a revolutionary simulation code, AREPO-IDORT, MPA researchers accurately model how light travels through the turbulent, convective envelopes of these stars. For the first time, scientists have simulated the full 3D structure of a red supergiant's outer layers, revealing complex, asymmetric gas flows and large-scale convective cells.

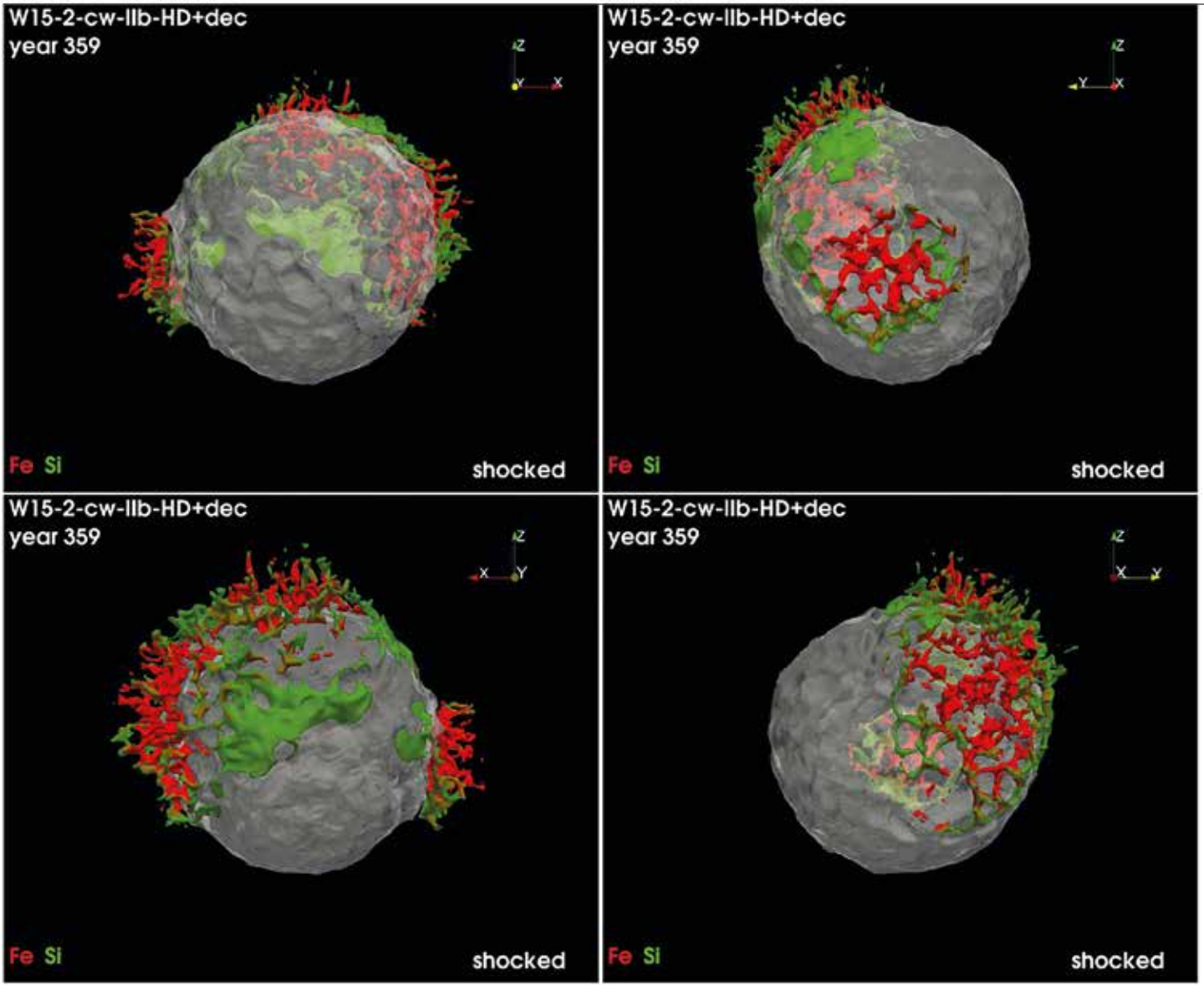
Mehr erfahren:

Learn more:



Die Simulation zeigt Temperaturschwankungen und unterschiedliche Radialgeschwindigkeiten in der konvektiven Hülle eines roten Überriesen und verdeutlicht großräumige, asymmetrische Strömungen.

Simulation showing temperature fluctuations and varying radial velocities in the convective envelope of a red supergiant star, highlighting large-scale, asymmetric flows.



Die Abbildung zeigt die Verteilung von Eisen (rot) und Silizium (grün) in einer Simulation der Explosion, die zum Supernova-Überrest Cassiopeia A führte, aus verschiedenen Blickwinkeln. Das Bild oben links entspricht dem Blickwinkel von der Erde aus.

Distribution of iron (red) and silicon (green) in a simulation of the explosion leading to the Cassiopeia A supernova remnant for different viewing angles. The upper left panel corresponds to the vantage point at Earth.

FABRIKEN FÜR SCHWERE ELEMENTE
HEAVY ELEMENT FACTORIES

Supernova-Explosionen gehören zu den energiereichsten Phänomenen im Universum und sind die Hauptquelle für schwere chemische Elemente. Die innersten, heißesten Regionen des kollabierenden Sterns sind nicht direkt sichtbar.
Sie können erst Wochen oder Monate, nachdem die Explosionswelle die Oberfläche des Sterns erreicht hat, beobachtet werden. Mithilfe numerischer Simulationen, die auf den leistungsstärksten Supercomputern durchgeführt werden, können die damit verbundenen komplexen Prozesse untersucht werden. Diese Simulationen erfordern jedoch die Berücksichtigung sehr unterschiedlicher Längen- und Zeitskalen, sowie von Rotation, Magnetfeldern und vielen anderen physikalischen Prozessen.

Supernova explosions are among the most energetic phenomena in the universe and are the primary source of heavy chemical elements. The hot innermost regions of the collapsing star are not directly visible; they can only be observed weeks or months later after the explosion wave reaches the star's surface. Numerical simulations exploiting the most powerful supercomputers provide a means of studying the complex processes involved, but these simulations require the handling of vastly different length and time scales, rotation, magnetic fields and many other physical processes.

Mehr erfahren:

Learn more:

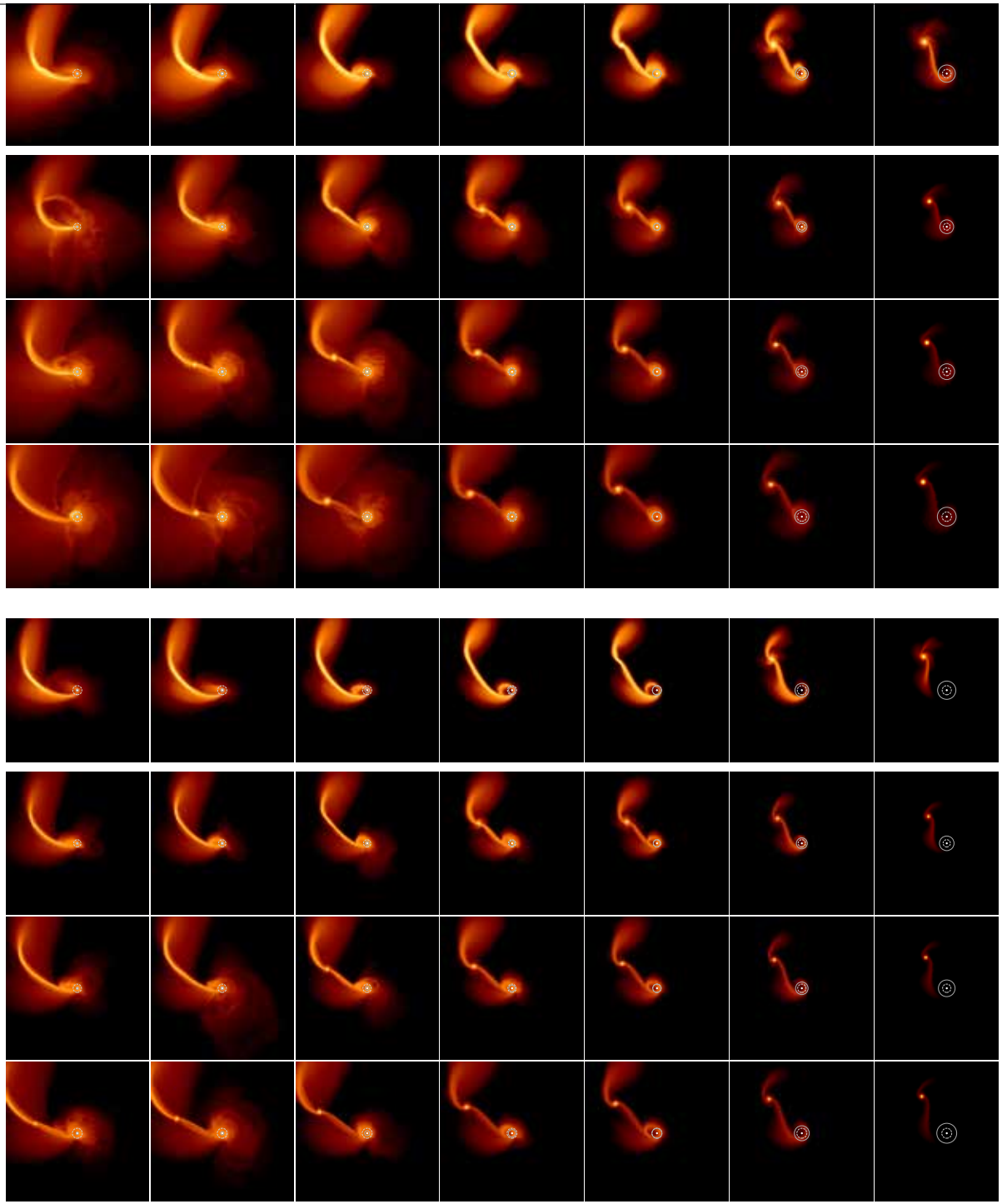
DAS SCHWARZE LOCH IM ZENTRUM UNSERER GALAXIE THE BLACK HOLE IN THE GALACTIC CENTRE

Im Zentrum der Milchstraße befindet sich ein Schwarzes Loch mit einer Masse von über vier Millionen Sonnen. Doch seine genaue Beschaffenheit und die Frage, ob es dort noch andere kompakte Objekte gibt, bleiben ein Rätsel. Forschende des MPA simulierten mithilfe detaillierter Sternentwicklungsmodelle, wie ein Stern im Rahmen eines stabilen Massentransfers an ein solches supermassereiches Schwarzes Loch Materie verlieren könnte. Sie fanden heraus, dass ein „abgestreifter" Stern in einer engen Umlaufbahn nachweisbare elektromagnetische Signale und hochenergetische Neutrinos erzeugen könnte.

The Milky Way's centre hosts a black hole with a mass of over four million suns, yet its exact nature and the presence of other compact objects remain mysterious. MPA researchers used detailed stellar evolution models to simulate how a star could lose mass in a stable mass transfer to such a supermassive black hole. They found that a stripped star in a close orbit could produce detectable electromagnetic signals and high-energy neutrinos.

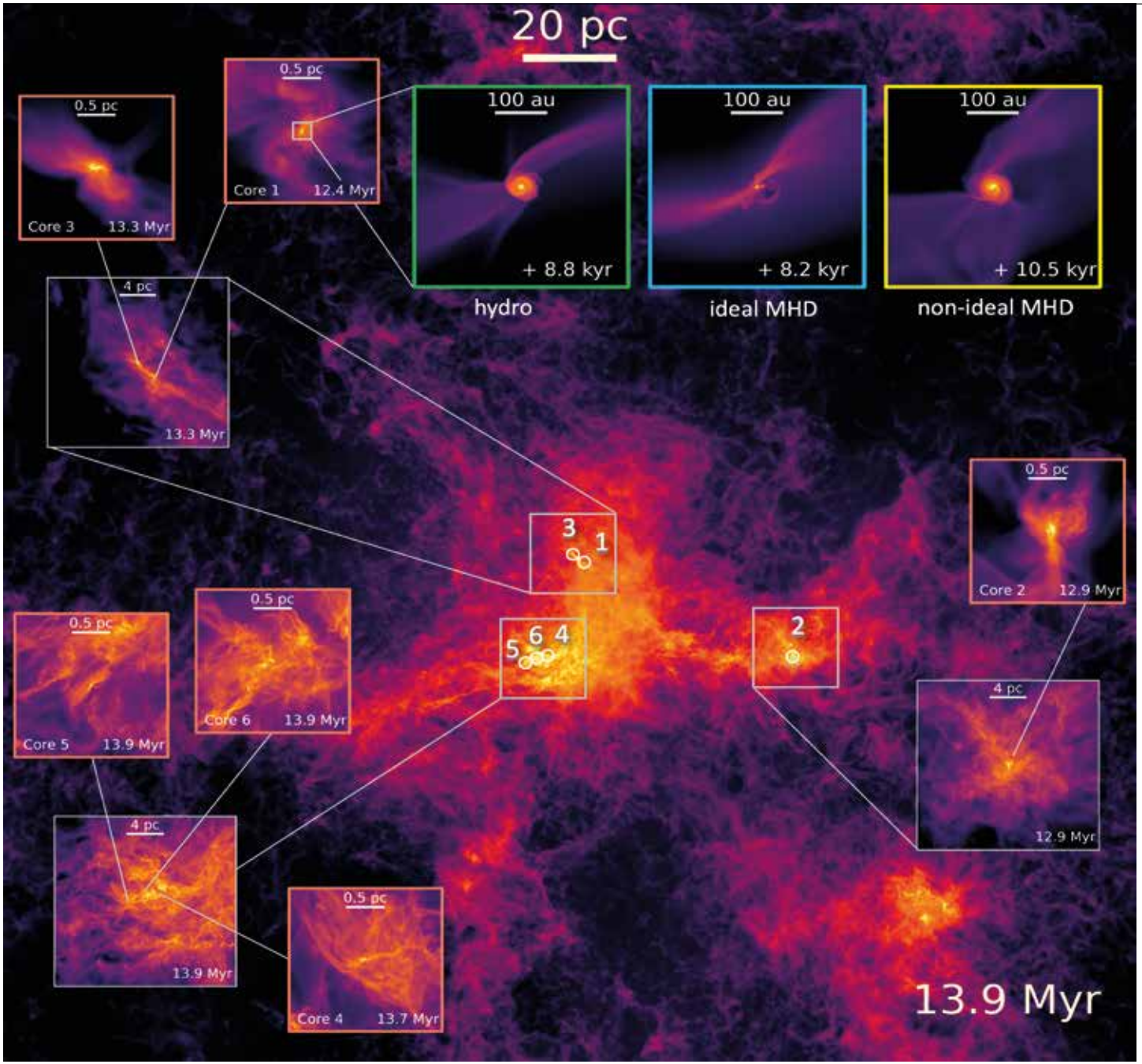
Mehr erfahren:

Learn more:



Momentaufnahmen aus einer Simulation der nahen Begegnung eines Sterns mit einem supermassereichen Schwarzen Loch. Gezeigt werden die Gezeitenstörung und der Massentransfer.

Snapshots from a simulation of a star's close encounter with a supermassive black hole, showing tidal disruption and mass transfer.



Die Simulation zeigt die Entstehung protostellarer Scheiben innerhalb einer Molekülwolke, wobei die Zoom-Bereiche dichte Kerne hervorheben.

Simulation showing proto-stellar disks forming inside a molecular cloud, with zoom regions highlighting dense cores.

PHYSIK DES INTERSTELLAREN MEDIUMS
PHYSICS OF THE INTERSTELLAR MEDIUM

Das Gas im Inneren von Galaxien spielt eine entscheidende Rolle bei deren Entwicklung. Das turbulente „interstellare Medium“ (ISM) ist der Ort, an dem alle Sterne und Sternhaufen entstehen. Es ist auch der Ursprung galaktischer Ausströmungen, die das Material zur Sternentstehung aus den Galaxien abtransportieren und die Sternentstehung über kosmische Zeitskalen hinweg regulieren.

Mithilfe neuartiger, nicht-idealer magnetohydrodynamischer Simulationen unter Verwendung des AREPO-Codes haben Forschende des MPA einen beispiellos detaillierten Einblick in die Entstehung protostellarer Scheiben in einem realistischen, turbulenten ISM gewonnen.

The gas inside galaxies plays a crucial role in their evolution. The turbulent ”interstellar medium“ (ISM) is the site where all stars and star clusters form. It is also the origin of galactic outflows, which remove star-forming material from galaxies and regulate star formation over cosmic timescales.

Using novel non-ideal magneto-hydrodynamic simulations in the AREPO code, MPA researchers have provided an unprecedentedly detailed view of proto-stellar disk formation in a realistic, turbulent ISM.

Mehr erfahren:

Learn more:

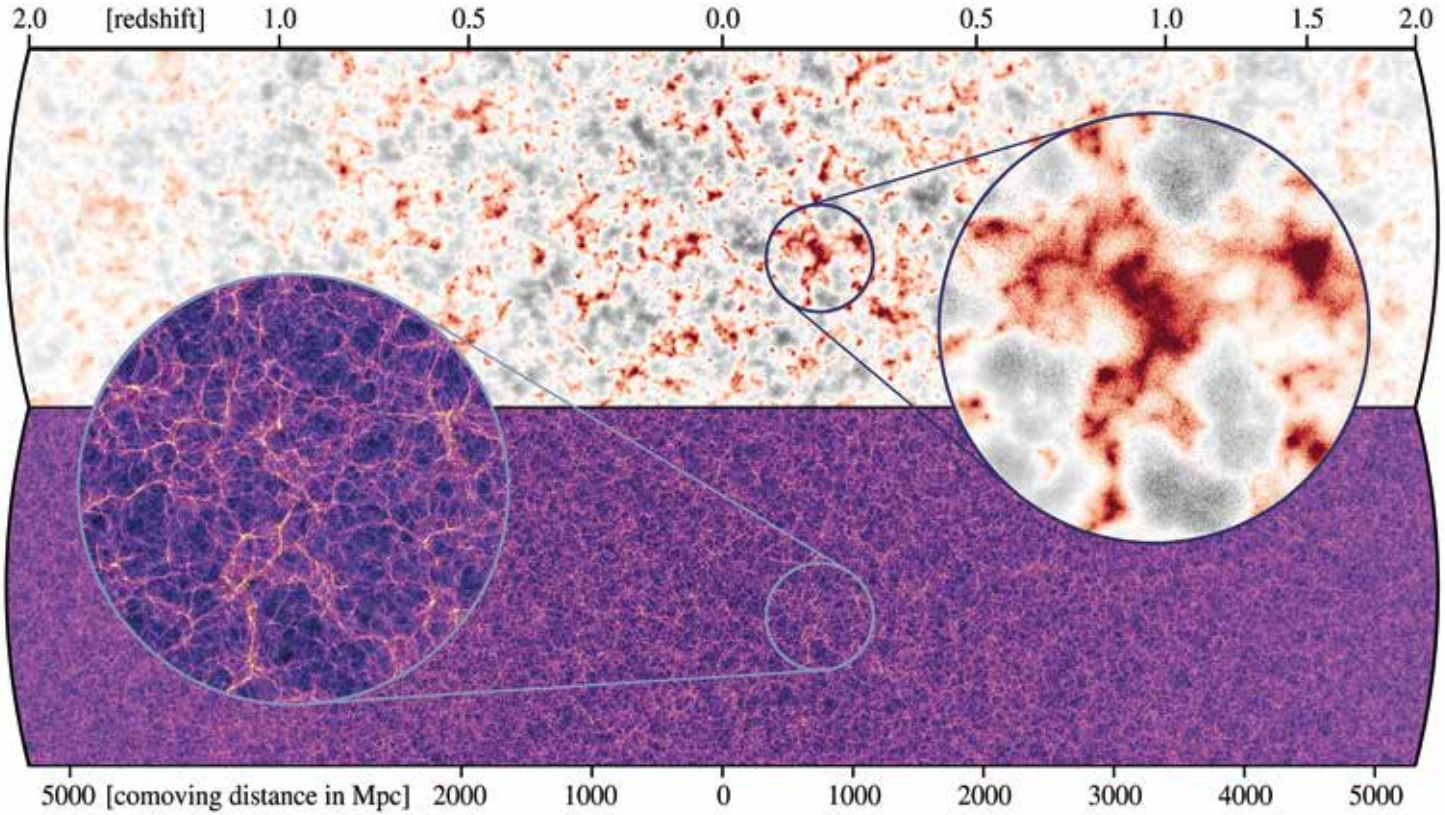
KOSMISCHE STRUKTUREN
COSMIC STRUCTURES

Das „MillenniumTNG“-Projekt simuliert die Entstehung von Galaxien und der kosmischen großräumigen Strukturen über riesige Entfernungen hinweg. Diese Simulationen tragen dazu bei, das kosmologische Standardmodell zu überprüfen, Schwachstellen in der ΛCDM-Theorie aufzuspüren und Widersprüche zu neuen Beobachtungsdaten zu identifizieren. Dies könnte zu einem besseren Verständnis von dunkler Materie und dunkler Energie führen.

The “MillenniumTNG“ project ambitiously simulates the formation of galaxies and cosmic large-scale structure across vast spaces. These simulations help test the standard cosmological model, seeking cracks in the ΛCDM-theory and identifying tensions with new observational data. This could lead to a better understanding of dark matter and dark energy.

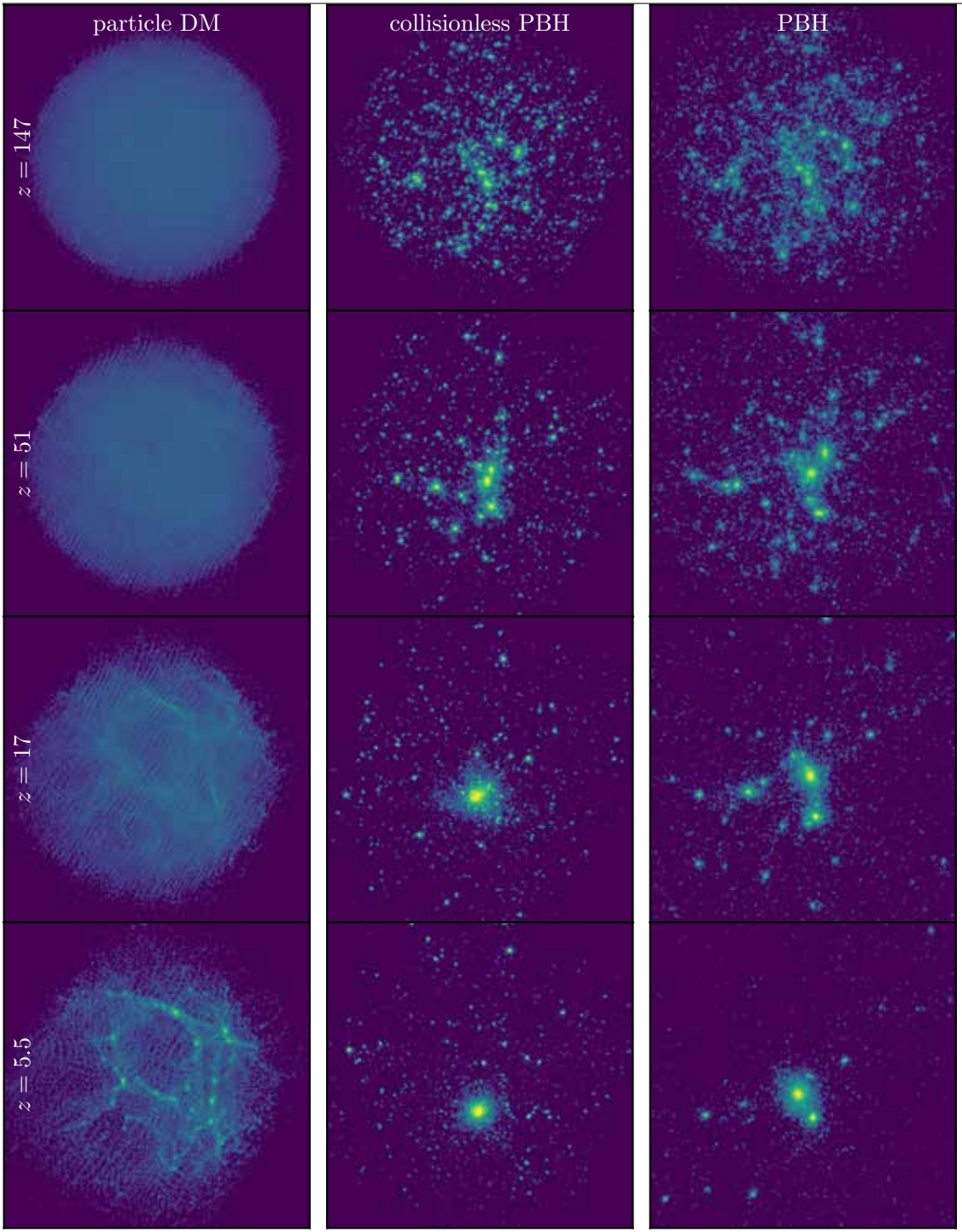
Mehr erfahren:

Learn more:



Vergleich der Verteilungen von Neutrinos (oben) und dunkler Materie (unten). Wenn sich die kosmische Expansion verlangsamt, beginnen sich die Neutrinos zu einem späten Zeitpunkt schwach um die größten Konzentrationen dunkler Materie zu gruppieren.

Comparison of neutrino (top) and dark matter (bottom) distributions. As cosmic expansion slows down, the neutrinos at late times start to weakly cluster around the biggest concentrations of dark matter.



Verschiedene Schnitte durch ein simuliertes Universum, die die Dichte der Dunklen Materie in Szenarien mit Teilchen und primordiale Schwarzen Löchern zeigen. Das linke Bild zeigt die Dunkle Materie als Teilchen, während das rechte Bild das Szenario mit primordialen Schwarzen Löchern darstellt. Das mittlere Bild veranschaulicht das Ergebnis, wenn kleinräumige Wechselwirkungen zwischen Binärsystemen vernachlässigt werden.

Simulated universe slices showing dark matter density in particle and primordial black hole scenarios. The left panel shows the case of particle dark matter, while the right panel shows the primordial-black-hole scenario. The middle panel illustrates the result if small-scale binary interactions are neglected.

PRIMORDIALE SCHWARZE LÖCHER
PRIMORDIAL BLACK HOLES

Astronom:innen und Kosmolog:innen haben eine Vielzahl von Belegen für die Existenz von Dunkler Materie gesammelt – dennoch lässt sie sich nur über ihre Gravitationswirkungen nachweisen. Ein faszinierender Kandidat für Dunkle Materie sind primordiale Schwarze Löcher, die im frühen Universum entstanden sind. Eine Vielzahl von Beobachtungen hat verschiedene Einschränkungen hinsichtlich der zulässigen Massen dieser primordialen Schwarzen Löcher geliefert, doch zumindest ein Teil der Dunklen Materie könnte nach wie vor aus diesen primordialen Schwarzen Löchern bestehen. Simulationen untersuchen den Einfluss verschiedener Modelle der Dunklen Materie auf die Entstehung und Entwicklung kosmischer Strukturen.

Astronomers and cosmologists have collected a wide range of evidence for the existence of dark matter – yet it is only observed via its gravitational effects. Among dark matter candidates, primordial black holes, formed in the early Universe, are intriguing. A wide range of observations has placed various constraints on the allowed masses of these primordial black holes, but at least a fraction of dark matter might still consist of these primordial black holes. Simulations explore the impact of different dark matter models on cosmic structure formation and evolution.

Mehr erfahren:

Learn more:

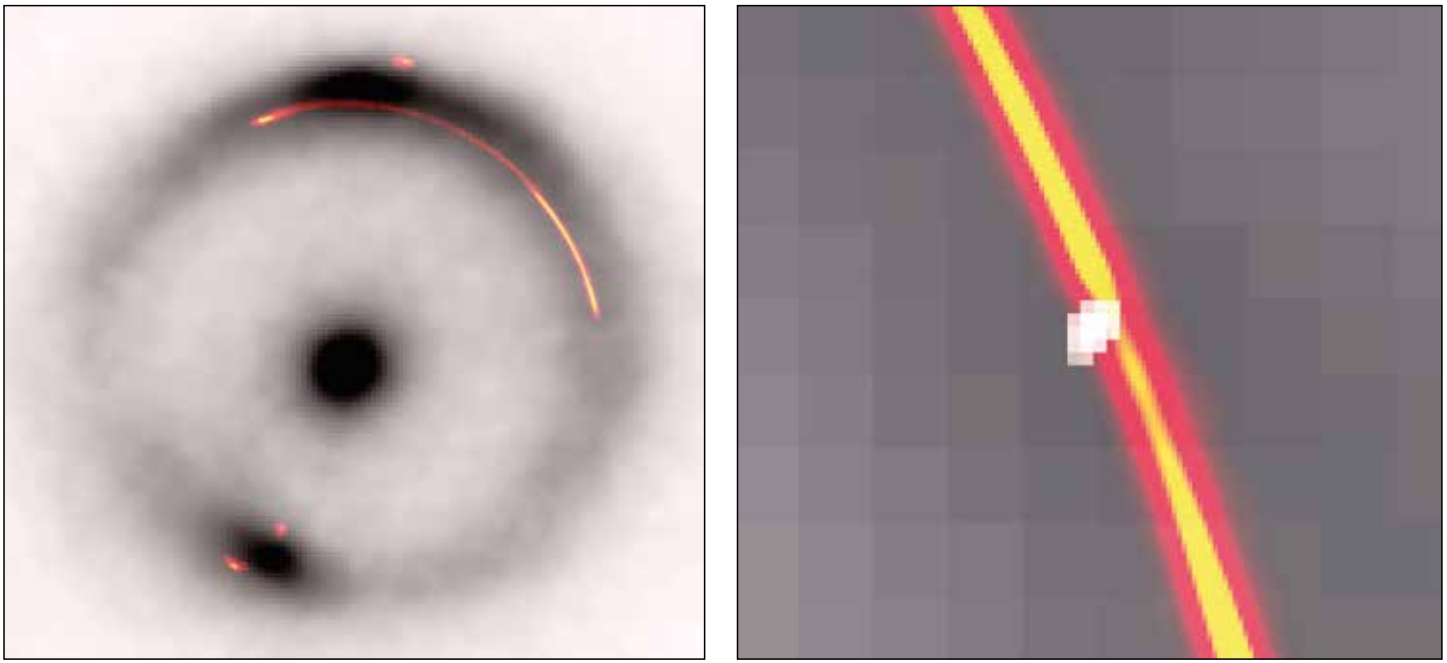
DAS UNSICHTBARE SICHTBAR MACHEN
IMAGING THE INVISIBLE

Dunkle Materie, die für die Entstehung und Entwicklung von Sternen und Galaxien unerlässlich ist, strahlt kein Licht aus. Als grundlegender Baustein des Universums ist es für Astronomen von zentraler Bedeutung zu klären, ob sich dunkle Materie gleichmäßig verteilt oder klumpig ist. Ihre Eigenschaften lassen sich nur indirekt bestimmen, beispielsweise durch Gravitationslinsen. Dieses Phänomen tritt auf, wenn das Licht eines entfernten Objekts durch die Schwerkraft eines dunklen Objekts im Vordergrund verzerrt wird.

Dark matter, essential to the formation and evolution of stars and galaxies, does not emit light. As a fundamental building block of the universe, a key question for astronomers is whether dark matter is smooth or clumpy. Its properties can only be determined indirectly, such as through gravitational lensing. This phenomenon occurs when light from a distant object is distorted by the gravity of a dark foreground object.

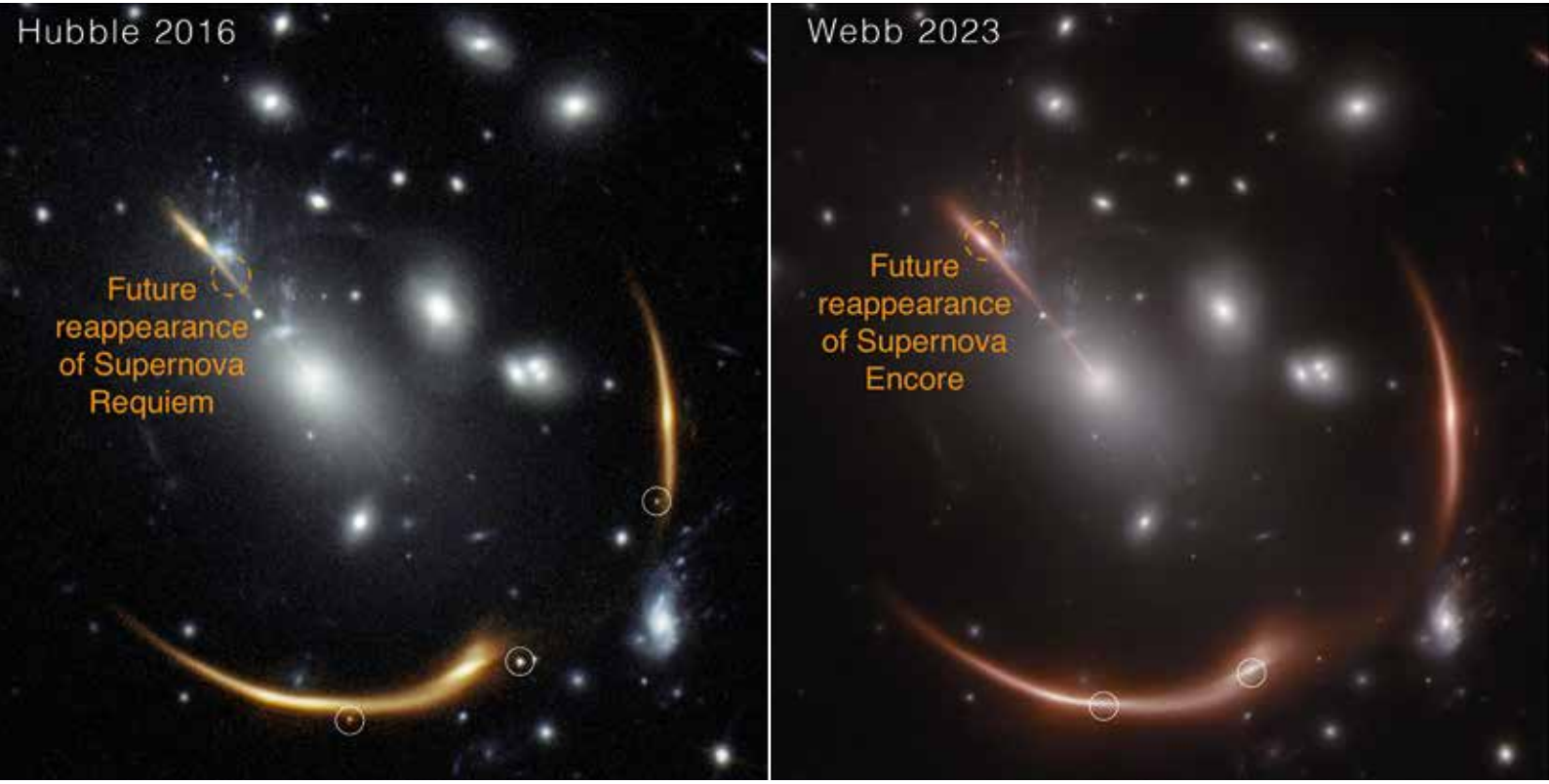
Mehr erfahren:

Learn more:



Infrarot- (schwarz-weiß) und Radioemission (farbig) des starken Gravitationslinsensystems JVAS B1938+666. Ein dunkles Objekt mit geringer Masse befindet sich in der Lücke im hellen Teil des Bogens auf der rechten Seite (siehe vergrößerten Ausschnitt) und stört den Bogen.

Infrared (black and white) an radio emission (colour) of the strong gravitational lens system JVAS B1938+666. A dark, low-mass object is located at the gap in the bright part of the arc on the right-hand side (see enlarged section) and perturbes the arc.



Stellen Sie sich ein Universum vor, in dem wir eine Supernova vor ihrem Auftreten vorhersagen können. Zwei Supernovae in derselben Hintergrundgalaxie (weiße Kreise; SN Requiem in einem Hubble-Bild links und SN Encore in einem James-Webb-Bild rechts) werden durch einen Galaxienhaufen im Vordergrund stark gelinst und erscheinen als mehrere Bilder. Das gemeinsame MPA/TUM-Team nutzte modernste Modellierungsansätze und Software, um dieses einzigartige System zu analysieren und vorherzusagen, dass beide Supernovae in Zukunft wieder erscheinen werden (durch den gestrichelten orangefarbenen Kreis angezeigt).

Imagine a universe where we can predict a supernova before it happens: Two supernovae in the same background galaxy (white circles; SN Requiem in a Hubble image, left, and SN Encore in a James Webb image, right) are strongly lensed into multiple images by a foreground galaxy cluster. The joint MPA/TUM team used state-of-the-art modelling approaches and software to analyse this unique system, predicting that both supernovae will reappear in the future (indicated by the dashed circle in orange).

Bildnachweis: NASA, ESA, STScI, CSA, S. A. Rodney, G. Brammer, J. Pierel und A. Newman; zusätzliche Markierungen in Orange von S. H. Suyu.
Image credit: NASA, ESA, STScI, CSA, S. A. Rodney, G. Brammer, J. Pierel, and A. Newman; additional annotation in orange by S. H. Suyu.

WIE SCHNELL DEHNT SICH UNSER UNIVERSUM AUS? HOW FAST IS OUR UNIVERSE EXPANDING?

Ein gemeinsames Team des MPA und der Technischen Universität München nutzt den starken Gravitationslinseneffekt auf Supernovae, um den Hubble-Parameter (H_0), also die aktuelle Ausdehnungsrate unseres Universums, zu messen. Im Bereich der starken Gravitationslinsen können aufgrund unterschiedlicher Längen der Strahlengänge zu verschiedenen Zeitpunkten mehrere Bilder einer Supernova entstehen. Derzeit gibt es einen Widerspruch bei den Messungen des Hubble-Parameters zwischen Beobachtungen aus dem frühen Universum und der lokalen Supernova-Entfernungsleiter. Der neue Ansatz wird eine unabhängige Messung von H_0 mit einer Genauigkeit von etwa 1% liefern, wodurch wir die Physik jenseits des kosmologischen Standardmodells überprüfen können.

A joint team at MPA and the Technical University Munich is using the strong lensing of supernovae to measure the Hubble parameter (H_0), the current expansion rate of our Universe. In the strong lensing regime, multiple images of a supernova can appear at different times due to the varying lengths of the optical paths. Currently, there is a tension in measurements of the Hubble parameter between observations from the early universe and the local supernovae distance ladder. The new approach will provide an independent measurement of H_0 with a precision of about 1%, allowing us to test physics beyond the standard cosmological model.

Mehr erfahren:

Learn more:

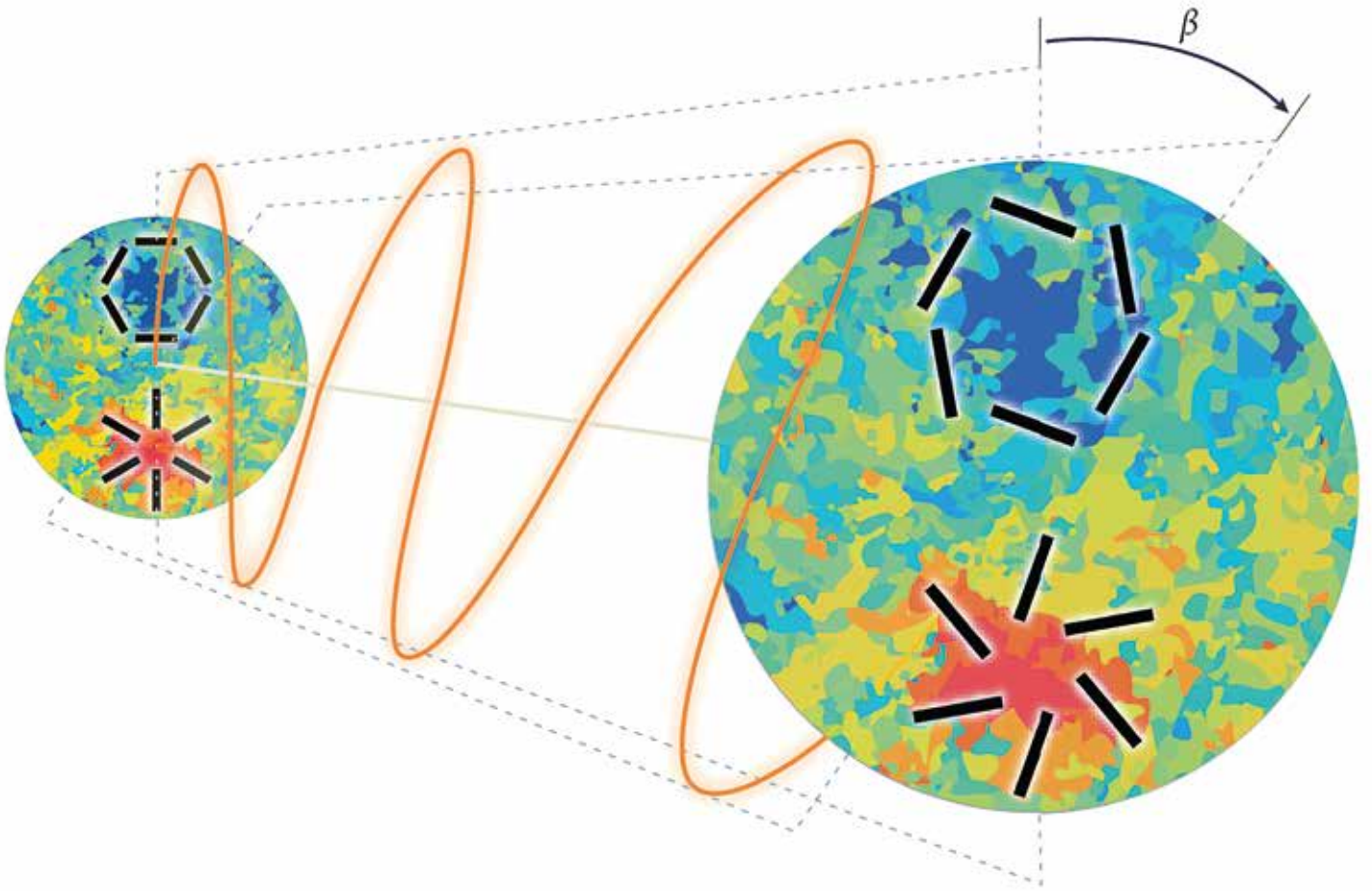
PHYSIK DES FRÜHEN UNIVERSUMS
EARLY UNIVERSE PHYSICS

Die genaue physikalische Natur von dunkler Energie und dunkler Materie ist nach wie vor ungeklärt. Die Untersuchung der Paritätssymmetrie – der Symmetrie der physikalischen Gesetze bei einer Umkehrung der Raumkoordinaten – kann neue Einblicke in dieses Rätsel liefern. Einige Theorien sagen voraus, dass dunkle Materie und/oder dunkle Energie aus einem Teilchen bestehen könnten, das die Parität verletzt und die Ebene der linearen Polarisation elektromagnetischer Wellen dreht, während diese sich durch den Raum ausbreiten. In den letzten Jahren wurde in den Polarisationsdaten der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung aus den Weltraummissionen WMAP und Planck ein vielversprechender Hinweis auf neue Physik gefunden. Neue Daten von bodengestützten Teleskopen untermauern nun die kosmologische Interpretation dieses Signals.

The exact physical nature of dark energy and dark matter remains elusive. The study of parity symmetry – the symmetry of the laws of physics under an inversion of spatial coordinates – can provide new insights into this puzzle. Some theories predict that dark matter and/or dark energy could be made of a parity-violating particle, which would rotate the plane of linear polarization of electromagnetic waves as they propagate through space. In recent years, a tantalizing hint of new physics was found in polarization data of the cosmic microwave background from the WMAP and Planck space missions. New data from ground-based telescopes now strengthen the cosmological interpretation of the signal.

Mehr erfahren:

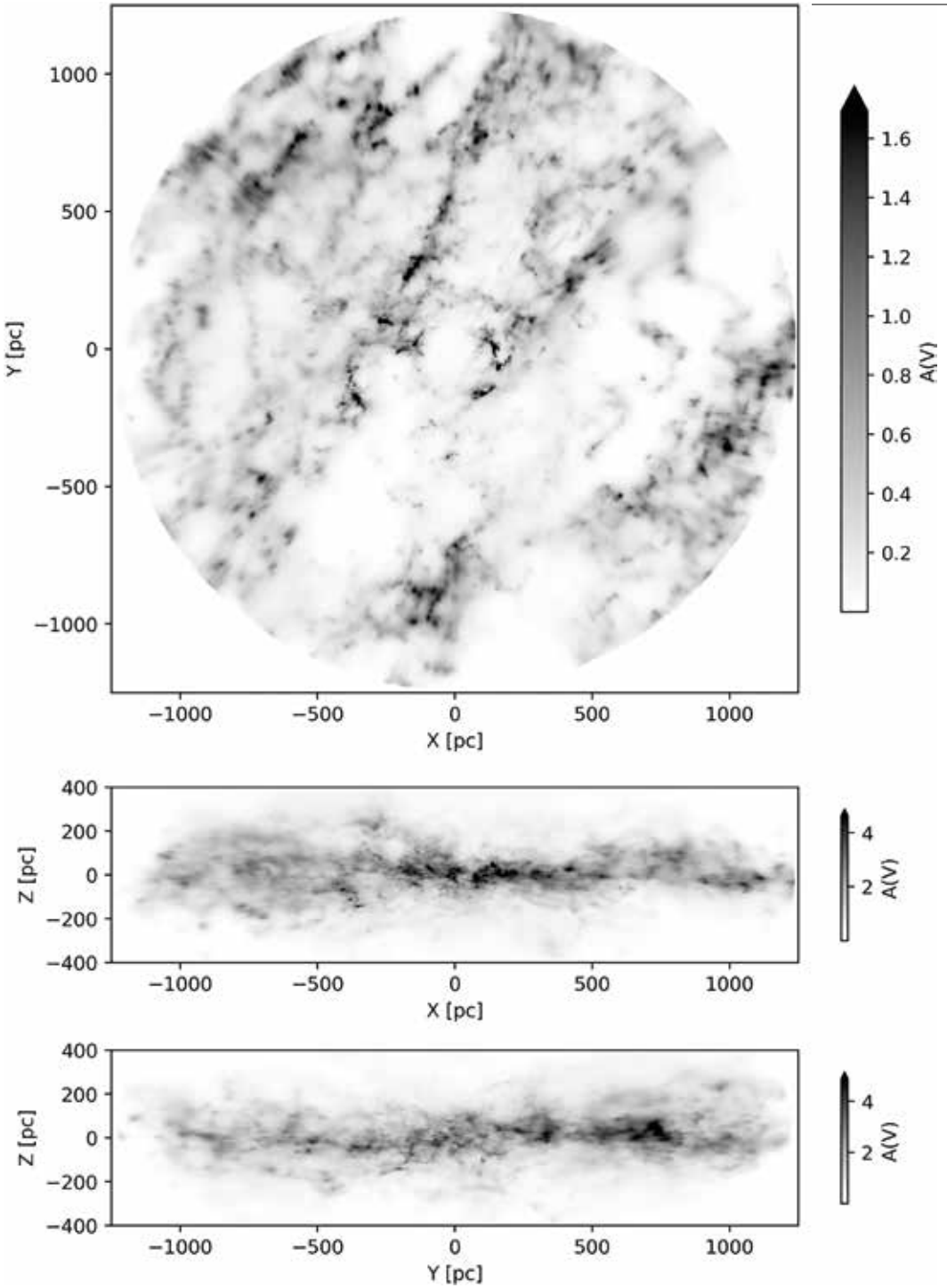
Learn more:



Während das Licht der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung, das vor 13,8 Milliarden Jahren emittiert wurde (links), durch das Universum reist, bis es auf der Erde beobachtet wird (rechts), wird die Schwingungsrichtung der elektromagnetischen Welle (orangefarbene Linie) um einen Winkel β gedreht. Diese Drehung könnte durch dunkle Materie oder dunkle Energie verursacht werden, die mit dem Licht der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung in Wechselwirkung treten und dadurch die Polarisationsmuster (schwarze Linien in den Bildern) verändern. Die roten und blauen Bereiche in den Bildern zeigen jeweils heiße und kalte Regionen der kosmischen Mikrowellenhintergrundstrahlung.

As the light of the cosmic microwave background emitted 13.8 billion years ago (left) travels through the Universe until observed on Earth (right), the direction in which the electromagnetic wave oscillates (orange line) is rotated by an angle β. The rotation could be caused by dark matter or dark energy interacting with the light of the cosmic microwave background, which changes the patterns of polarization (black lines inside the images). The red and blue regions in the images show hot and cold regions of the cosmic microwave background, respectively.

Quelle/Credit: Yuto Minami



Dreidimensionale Rekonstruktion des Staubes in unserer Milchstraße rund um das Sonnensystem unter Verwendung des Rahmens der Informationsfeldtheorie. Die Milchstraße ist äußerst komplex und wir können die 3D-Galaxie nur als 2D-Projektion auf die Himmelskugel beobachten. Durch die Kombination der Fülle vorhandener Daten über unsere Galaxie lässt sich jedoch die dreidimensionale Struktur all ihrer Bestandteile rekonstruieren.

Three-dimensional reconstruction of the dust in our Milky Way galaxy around the Solar System using the framework of Information Field Theory. The Milky Way is highly complex, and we can observe the 3D galaxy only as a 2D projection on the celestial sphere. However, by combining the wealth of existing data on our galaxy, the three-dimensional structure of all of its ingredients can be reconstructed.

NUMERISCHE METHODEN
NUMERICAL METHODS

Astrophysiker stehen vor der Herausforderung, verlässliche Informationen aus unvollständigen und verrauschten Daten zu gewinnen. Anstatt mit Durchschnittswerten und zusammenfassenden Statistiken zu arbeiten, hat eine Gruppe am MPA Methoden und Software entwickelt, die ausgefeilte statistische Werkzeuge, die Informationsfeldtheorie und maschinelles Lernen nutzen, um Vorwissen zu verwerten und auf der Grundlage der gegebenen Daten die wahrscheinlichsten Verteilungen und Parameter zu ermitteln. Mehrere andere Fachbereiche haben begonnen, diese Werkzeuge zu adaptieren, beispielsweise in anderen Bereichen der Physik, der medizinischen Bildgebung oder im Ingenieurwesen.

Astrophysicists face challenges extracting reliable information from incomplete, noisy data. Instead of working with averages and summary statistics, a group at MPA has been developing methods and software using sophisticated statistical tools, Information Field Theory, and machine-learning to make use of prior knowledge and extract the most probable distributions and parameters based on the data given. Several other communities have begun adapting these tools, such as other fields of physics, medical imaging, or engineering.

Mehr erfahren:

Learn more:

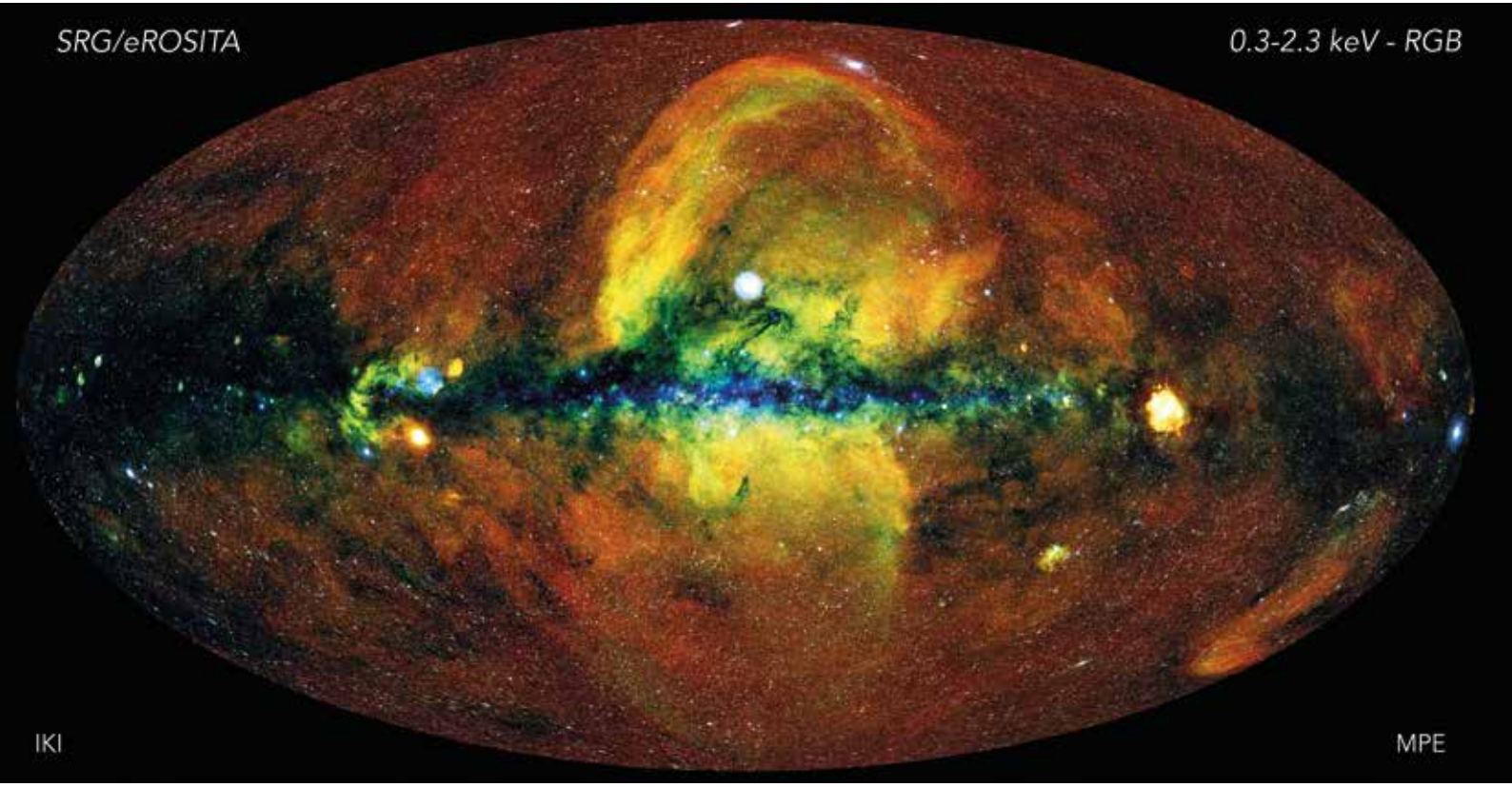
DAS UNIVERSUM IM RÖNTGENLICHT
X-RAYING THE UNIVERSE

An Bord des Observatoriums „Spektrum Roentgen Gamma" hat das Röntgenteleskop eROSITA mehrere Durchmusterungen des gesamten Himmels durchgeführt und dabei Millionen von Röntgenquellen entdeckt. Dies eröffnet die Möglichkeit, Schwankungen am Röntgenhimmel zu untersuchen. Alle 24 Stunden hat eROSITA etwa fünf Objekte entdeckt, deren Helligkeit sich seit der letzten Beobachtung um mehr als eine Größenordnung verändert hat: flackernde Sterne in der Milchstraße, variable aktive Galaxienkerne oder Sterne, die durch die starken Gezeitenkräfte in der Nähe supermassereicher Schwarzer Löcher auseinandergerissen werden.

On-board the Spectrum Roentgen Gamma observatory, the eROSITA X-ray telescope has conducted several all-sky surveys, detecting millions of X-ray sources and opening the possibility to study variability in the X-ray sky. Every 24 hours, eROSITA has detected about 5 objects that changed their brightness by more than an order of magnitude since the previous visit: flaring stars in the Milky Way, variable active galactic nuclei, or stars being disrupted by the strong tidal forces in the vicinity of supermassive black holes.

Mehr erfahren:

Learn more:



Falschfarbenkarte des Röntgen-Himmels, die mit dem eROSITA-Teleskop aufgenommen wurde. Photonen unterschiedlicher Energien sind in verschiedenen Farben dargestellt: von 300 bis 600 eV in Rot, von 600 eV bis 1,0 keV in Grün und von 1 bis 2,3 keV in Blau. In der Mitte des Bildes befindet sich die Scheibe unserer Milchstraße – ein dunkles Band auf der Röntgenkarte, da das molekulare Gas und der Staub in der Ebene der Galaxie Röntgenstrahlung absorbieren. Die blauen Punkte in diesem Bereich weisen auf eine große Anzahl heller und leistungsstarker Röntgenquellen hin, darunter Röntgenpulsare, akkretierende Schwarze Löcher und Neutronensterne in Doppelsternsystemen sowie Überreste von Supernova-Explosionen.

False-colour X-ray all-sky map by the eROSITA telescope, where photons of different energies are shown in different colours – from 300 to 600 eV in red, from 600 eV to 1.0 keV in green and from 1 to 2.3 keV in blue. At the middle plane of the picture lies the disk of our Milky Way, a dark band on the X-ray map, because the molecular gas and dust in the plane of the Galaxy absorb X-rays. The blue dots located in this region reveal the presence of a large number of bright and powerful X-ray sources – X-ray pulsars, accreting black holes and neutron stars in binary stellar systems, and remnants of supernova explosions.

Bildnachweis/Credit: MPE/IKI

Impressum / Imprint

HERAUSGEBER
Max-Planck-Institut für Astrophysik
Karl-Schwarzschildstr. 1, 85748 Garching

www.mpa-garching.mpg.de

REDAKTION
Hannelore Hämmerle
Pressesprecherin MPA

FOTONACHWEIS
Bilder © MPA, sofern nicht anders angegeben.
Images © MPA unless stated otherwise.

GESTALTUNG
Seiler Grafik Design, Altomünster

September 2026