

# 012

**How and when did the cosmos come into existence?**

Was passiert hinter dem Horizont von Schwarzen Löchern?

Was ist Dunkle Materie und Dunkle Energie?

**What determines the characteristics of the cosmos?**

**Wie und wann ist unsere Welt entstanden?**

What happens behind the horizon of black holes?

What is dark matter and dark energy?

**Wie wird sich das Universum weiterentwickeln?**

How will the universe evolve?

Was bestimmt die Eigenschaften des Kosmos?



ESO/MT



Max Planck Institute for Astrophysics, Garching



Foto: [www.felix-brandl.de](http://www.felix-brandl.de), Felix Brandl, Munich

Wie und wann ist unsere Welt entstanden? Schon immer bewegte die Menschheit die Frage nach ihrer Herkunft. Heute ist diese Frage erweitert: Wir wollen wissen, warum das Universum die Gestalt und Struktur hat, die es heute zeigt. Wir wollen die kosmischen Prozesse kennen. Astronomen und Astrophysiker studieren deshalb Geburt und Tod von Sternen, die Entstehung von Galaxien und Schwarzen Löchern und versuchen die Verteilung der Dunklen Materie und der Dunklen Energie zu ergründen. Wir wissen viel über die vier Prozent sichtbare Materie – über die 96 Prozent Unsichtbares dazwischen wissen wir fast nichts.

Daher arbeiten Astronomen heute mehr denn je mit Kern- und Teilchenphysikern, Kosmologen und Mathematikern zusammen, um Strukturen und Prozesse zu modellieren und zu simulieren und Quantenmechanik und Relativitätstheorie zusammen zu bringen. Dadurch wollen sie ihre brennendsten Fragen klären: Wie ist der Kosmos entstanden und gewachsen? Wie konnte sich die Ordnung in ihm ausbilden, die wir heute vorfinden – obgleich er am Anfang vermutlich völlig ungeordnet war?

Voraussetzung dafür sind immer leistungsfähigere und komplexere Instrumente: Teleskope auf der Erde und im Weltraum, die das ganze Strahlungsspektrum abdecken. Schon jetzt befindet sich die Astronomie in einer Goldenen Phase – nie gab es genauere Instrumente, die weiter ins All blicken konnten. Wir sind die ersten Menschen, die extrasolare Planeten und Sternensysteme studieren können. Weltraumteleskope wie SOHO oder Hubble und irdische Observatorien wie VLT, HESS und MAGIC oder GEO600 liefern dazu reiche Datensätze. Sie sollen in Zukunft ergänzt werden durch eine Reihe von Teleskopen in Planung, darunter das Radioteleskop ALMA und der VLT-Nachfolger OWL mit 100 Metern Durchmesser.

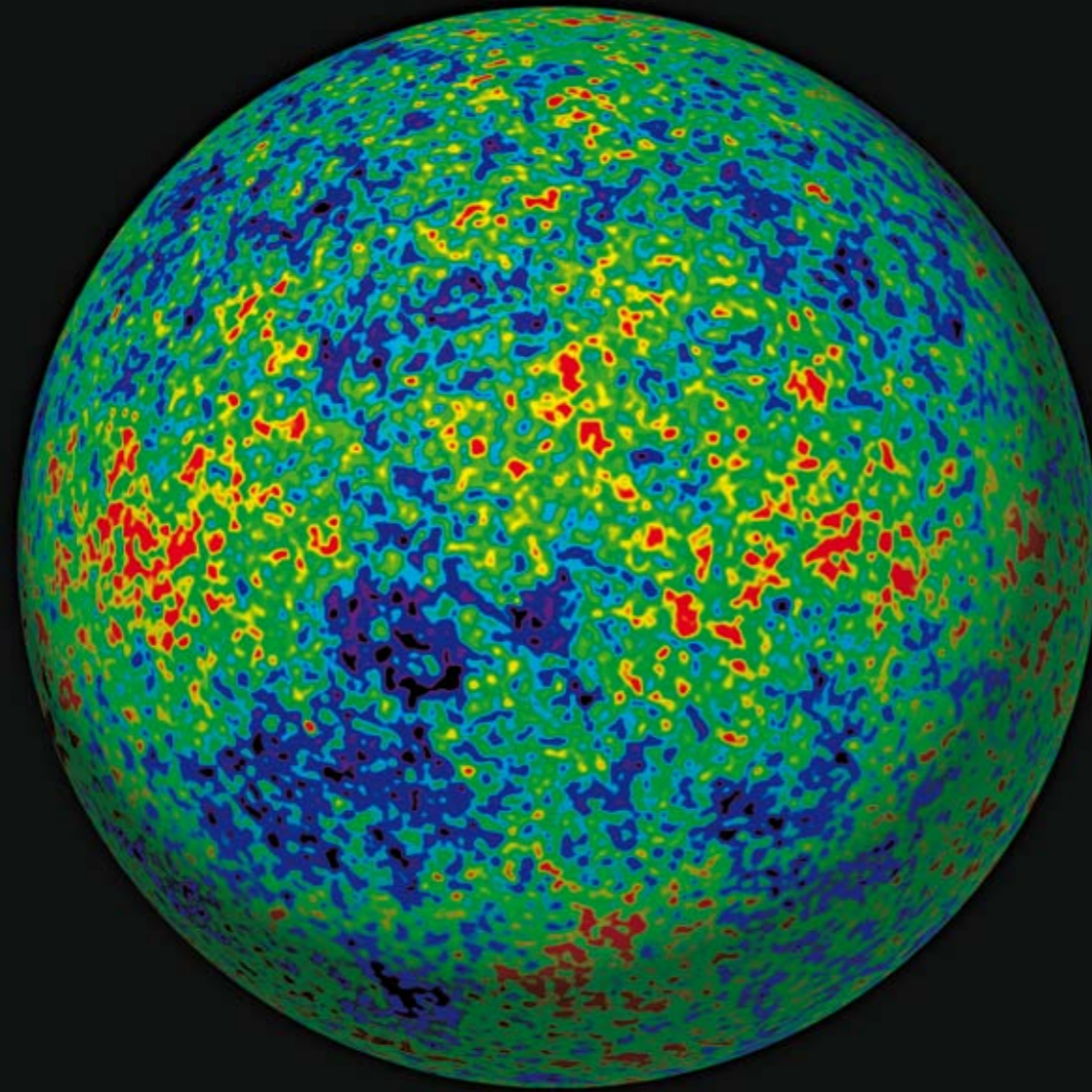
How and when did the cosmos come into existence? Where do we come from? This question has fascinated mankind throughout history. But today we want to know more. How did the universe come to be? Why does it have its present shape and structure? We want to understand cosmic processes. To find answers to these questions, astronomers and astrophysicists study the birth and death of stars, and the creation of galaxies and black holes. They also try to determine how dark matter and dark energy is dispersed throughout the universe. We know a great deal about the four percent of visible matter – however, about the 96 percent of invisible stuff in between, we know next to nothing.

To improve their chances of shedding some light on these matters, astronomers now, more than ever before, are teaming up with nuclear physicists, particle physicists, cosmologists, and mathematicians to model and simulate structures and processes, bringing together quantum mechanics and the Theory of Relativity. Their hope is to answer the burning question of how the universe originated and evolved. How did it come to have the order and structure we know today, given its apparent initial chaos?

In their quest for answers, scientists rely on increasingly powerful and complex instruments. This includes telescopes set up on earth and in space designed to cover the entire radiation spectrum. Astronomy, today, has already entered a golden era, with instruments more accurate than ever before, enabling scientists to look far off into the universe. We are the first human beings to study extrasolar planets and solar systems. Space telescopes, such as SOHO and Hubble, and ground-based observatories, such as VLT, HESS, MAGIC and GEO600, deliver a wealth of important data. In the future, these systems are to be supplemented by a number of telescopes still in the planning stages, including the ALMA radio telescope and OWL telescope, the successor to VLT with a 100-meter diameter.

**Height, Weight, Age – A Description** Our Milky Way contains around 100 billion stars. Its diameter is 100,000 light years or 10 exameters, which is ten times  $10^{18}$  meters. But the Milky Way is only one of more than 100 billion galaxies in the observable part of the Universe, and many of these are much larger than ours. However, according to the latest research results, normal matter accounts for only four percent of the universe; 23 percent is dark matter, apparent through its gravitational effects, while 73 percent of space is composed of dark energy, which further accelerates the expansion of the cosmos. According to current knowledge, the universe is 13.7 billion years old and 137 yottameters ( $10^{25}$  m) large – in other words the cosmic background radiation has covered some  $13.7 \times 10^9$  light years since the Big Bang.

**Größe, Gewicht, Alter – ein Steckbrief** Etwa 100 Milliarden Sterne enthält unsere Milchstraße. Ihr Durchmesser beträgt 100.000 Lichtjahre oder 10 Exameter, das sind zehn mal  $10^{18}$  Meter. Dabei ist die Milchstraße nur eine von mehr als 100 Milliarden Galaxien im beobachtbaren Teil des Universums, viele davon größer als die unsere. Doch nach neuesten Forschungsergebnissen macht die gewöhnliche Materie im Universum nur vier Prozent aus, 23 Prozent sind Dunkle Materie, die sich durch ihre Schwerkraftwirkung bemerkbar macht, während 73 Prozent des Alls aus Dunkler Energie bestehen, welche die Expansion des Kosmos weiter beschleunigt. Nach heutigem Wissen ist das Weltall 13,7 Milliarden Jahre alt und damit 137 Yottameter ( $10^{25}$  m) groß, oder eben jene  $13,7 \times 10^9$  Lichtjahre, die die kosmische Hintergrundstrahlung seit dem Big Bang zurückgelegt hat.



1 2

## HOW IT ALL BEGAN

### WIE ALLES BEGANN

1 2 3

**Born of Foam** 96 percent of all matter in the universe cannot be detected by a telescope. Given the expansion of the universe, astrophysicists know that the universe must be mostly filled with dark matter and dark energy. This theory also conforms with cosmic microwave background radiation measurements made by the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) satellite, which examined the afterglow of the Big Bang for irregularities (1). These findings suggest that matter has a foam-like structure, as indicated by Big Bang simulations (2,3).

**Schaumgeboren** 96 Prozent aller Materie im Welt- raum kann man nicht im Teleskop entdecken. Durch die Expansion des Alls wissen Astrophysiker, dass das Universum vor allem mit Dunkler Materie und Dunkler Energie angefüllt sein muss. Dies bestätigte auch die Vermessung des Mikrowellenhintergrundes durch die Satellitenmission Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), bei der man das Nachglimmen des Urknall- Blitzes am Himmel auf Unregelmäßigkeiten (1) unter- suchte. Diese spiegeln die Schaumstruktur der Materie wieder, wie man sie aus Urknall-Simulationen kennt (2,3).

NASA/WMAP Science Team  
Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

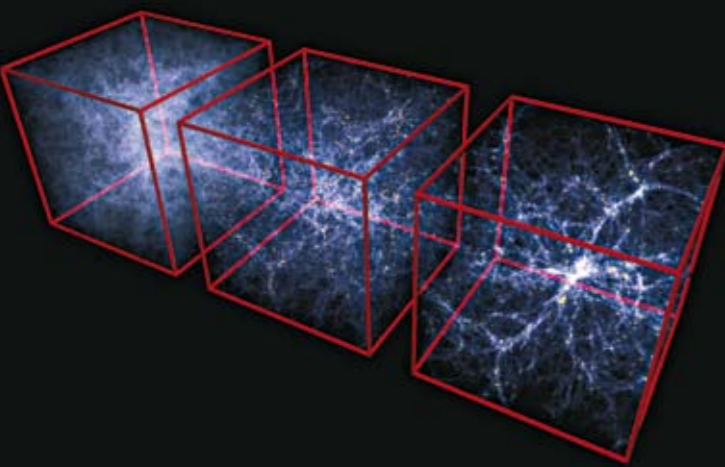
4

**A Dark Mystery** Nevertheless, scientists still do not know what this dark matter is. Is it made up of neu- trinos? Or of light, supersymmetrical ›neutralinos‹? Astrophysicists are awaiting results from the Large Hadron Collider at CERN, where scientists are simula- ting its distribution. CERN is also planning a satellite, Planck, to explore dark matter. Even more baffling is dark energy, which cannot be confirmed in a laboratory. Quantum mechanics is at loss when it comes to defining its properties. The theory obviously has to be adapted to accommodate this energy – but how? We don't even know what it is!

**Ein dunkles Rätsel** Doch noch ist nicht klar, woraus die Dunkle Materie besteht. Sind es Neutrinos? Oder leichte, supersymmetrische ›Neutralinos‹? Astrophysiker hoffen auf Messergebnisse am Large Hadron Collider am CERN; sie simulieren ihre Verteilung und planen mit Planck einen Satelliten, der sie erforschen soll. Noch rätselhafter ist die Dunkle Energie, die man nicht im Labor nachwei- sen kann: Die Quantenmechanik scheitert, wenn man damit ihre Eigenschaften ergründen will. Offenkundig muss die Theorie angepasst werden – doch woran? Und wie?

NASA/WMAP Science Team

3 4





1

**Nature's Fuzziness Leads to the Formation of Galaxies** Shortly after the Big Bang, the world was monotonous: the cosmic primeval soup extended out into the void completely evenly. But nature's fuzziness, known in small dimensions from quantum mechanics, led to the tiniest differences suddenly popping up here and there. The universe and these small irregularities swelled up more and more – while simultaneously cooling off. A simulation shows the resulting hot and cold gases (red and blue, respectively) that condense along these structures and so determine the later arrangement of the galaxies.

**Unschärfe der Natur führt zur Bildung von Galaxien** Kurz nach dem Urknall war die Welt eintönig: Vollkommen gleichmäßig dehnte sich die kosmische Ursuppe in das Nichts hinein aus. Doch die aus der Quantenmechanik bekannte Unschärfe der Natur in kleinen Dimensionen führte dazu, dass da und dort plötzlich winzigste Unterschiede auftraten. Das Universum blähte sich und diese kleinen Unregelmäßigkeiten immer mehr auf – und kühlte gleichzeitig ab. Eine Simulation zeigt die entstehenden heißen und kalten Gase (rot bzw. blau), die sich entlang dieser Strukturen verdichten und so die spätere Anordnung der Galaxien bestimmen.

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

2

**Gravitational Waves Deforms Space** Gravitational waves are predicted in the Theory of Relativity which, among other things, implies that space is not rigid, but is deformed in the vicinity of solid objects. When masses are strongly accelerated they radiate gravitational waves very similar to the way fast moving charges emit radio waves. Gravitational waves move through the universe at the speed of light and slightly deform space, somewhat like the concentric outward moving ripples on the surface of water into which an apple has fallen.

**Gravitationswellen verformen den Raum** Gravitationswellen sind eine Voraussage der Relativitätstheorie, die unter anderem besagt, dass der Raum nicht starr ist, sondern sich in der Umgebung materieller Objekte verformt. Wenn Massen stark beschleunigt werden, strahlen sie Gravitationswellen ab, ganz ähnlich, wie schnell bewegte Ladungen Radiowellen aussenden. Gravitationswellen durchleiten das Universum mit Lichtgeschwindigkeit und verformen dabei geringfügig den Raum, etwa so, wie die konzentrisch auslaufenden Wellen eines ins Wasser fallenden Apfels die Oberfläche kräuseln.

Hanover branch of the MPI for Gravitational Physics, Potsdam

3

**Secretive Dark Matter** Researchers using an Australian telescope have confirmed the position of more than 200,000 galaxies. This Atlas of the galaxies has made it possible to estimate the distribution of matter in space. Matter takes on reciprocal appearances – for that reason many galaxies cluster together. Researchers cannot explain the precise distribution of these clusters from the gravitational forces of the visible material alone. This is only possible with the hypothesis that additional invisible matter dominates space – with seven times greater mass than visible matter.

**Die geheimnisvolle Dunkle Materie** Mit einem australischen Teleskop haben Forscher die Lage von mehr als 200.000 Galaxien bestimmt. Dieser Galaxienatlas ermöglichte es, die Verteilung der Materie im All abzuschätzen. Materie zieht sich gegenseitig an – deshalb haben sich viele Galaxien zu Haufen zusammengeschlossen. Doch die genaue Verteilung dieser Haufen konnten die Forscher nicht allein durch die Anziehungskräfte der sichtbaren Materie erklären. Dies wurde erst möglich durch die Annahme, dass zusätzlich eine andere, unsichtbare Materie das All beherrscht – mit siebenfach höherer Masse.

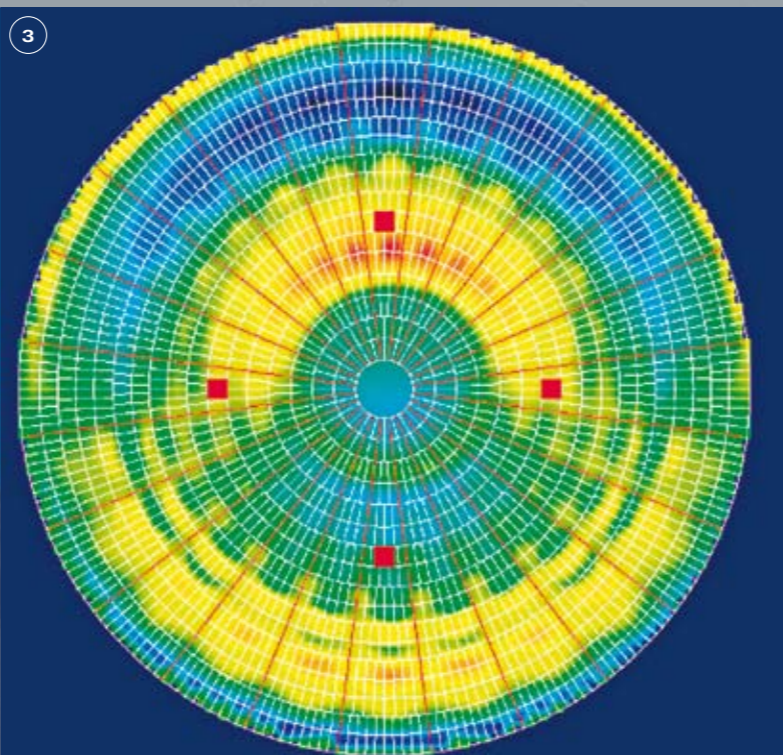
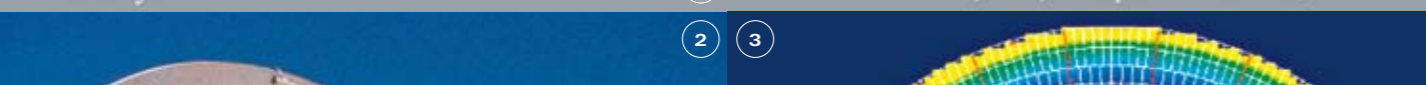
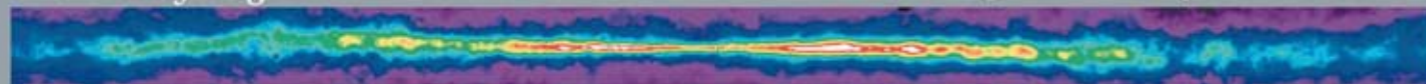
CERN, Geneva/Switzerland

4

**The End of a Star** Supernova on the computer: shortly before its end, a blue giant star is 40 times larger than the sun. The star generated a force from its nuclear reactions that stabilized it against its powerful gravitational force. Now the reactions have ended, the core of the star collapses in on itself. At the same time a shock wave is created which moves outwards. The large number of neutrinos that are generated heats up the process additionally. Two tenths of a second later the shockwave has reached the outer surface of the star and tears it apart in a powerful explosion.

**Das Ende eines Sterns** Supernova im Computer: Ein blauer Riesenstern ist kurz vor seinem Ende 40 Mal größer als die Sonne. Durch Kernreaktionen hatte der Stern einen Druck erzeugt, der ihn gegen seine gewaltigen Gravitationskräfte stabilisierte. Nun sind die Reaktionen zu Ende, der Kern des Sterns stürzt in sich zusammen. Gleichzeitig entsteht eine Stoßwelle, die nach außen läuft. In großer Zahl entstehende Neutrinos heizen den Vorgang weiter an. Zwei Zehntel Sekunden später hat die Stoßwelle die äußere Schicht des Sterns erreicht und zerreißt ihn in einer gewaltigen Explosion.

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching



## GLIMPSES INTO SPACE

## EINBLICKE INS ALL

①

**The Milky Way** Only a small portion of the Milky Way can be seen with the human eye, due to the fact that our eyes are designed to discern only a fraction of the light spectrum. However, when gases are drawn into a black hole, they radiate in the X-ray and Gamma range. Rotating neutron stars emit radio waves. Furthermore, hydrogen atoms, the most common element in the universe, emit typical wavelengths, which even permit the calibration of measurements. Depending on the object to be observed, the right type of telescope, designed for the appropriate wavelength is required.

**Die Milchstraße** Wenn man mit bloßem Auge zur Milchstraße blickt, dann sieht man nur durch ein schmales Lichtfenster: Das menschliche Auge kann nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Lichtspektrum wahrnehmen. Doch wenn Gase in Schwarze Löcher gerissen werden, dann leuchten sie im Röntgen- und Gammabereich auf. Rotierende Neutronensterne funken im Radiobereich. Und die Atome des Wasserstoffs, des häufigsten Elements im All, senden auf ganz typischen Wellenlängen, mit denen man sogar Messungen kalibrieren kann. Je nachdem, was man beobachten möchte, benötigt man daher das passende Teleskop für die richtige Wellenlänge.

ESO/Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

② ③

**Finder Telescope Designed for Radio Range** At a wavelength of less than one millimeter, new stars can be seen in dust shells and cool protostars. The Apex (Atacama Pathfinder Experiment) telescope was built in Chile (2) to do just that. This telescope will also be used as the finder telescope for the future Alma radio telescope. During production, Apex's receiver dish had to be precisely measured (3) and shaped to 0.018 millimeter accuracy.

**Ein Suchfernrohr im Radiobereich** Bei einer Wellenlänge unter einem Millimeter sieht man junge Sterne unter Staubhüllen oder kühle Protosterne. Um sie zu beobachten, wurde das Atacama Pathfinder Experiment – kurz Apex – in Chile gebaut (2). Es soll auch als Suchfernrohr für das künftige Alma-Radioteleskop dienen. Die Empfangsschüssel von Apex musste bei der Herstellung genauestens vermessen (3) und auf 0,018 Millimeter genau geformt werden.

Max Planck Institute for Radio Astronomy, Bonn

④

**Atacama Large Millimeter Array** This large telescope – Alma, for short – is comprised of up to 64 antennas, each the same size as Apex, 12 meters. Alma's mission is to intercept radio waves in the millimeter range in Chile's Atacama Desert. All antennas can be connected to jointly receive the radio waves, which, unlike visible light, can penetrate the dust shells around emerging stars and galaxies.

**ALMA Mater** Dieses Großteleskop – bestehend aus bis zu 64 Antennen, jede mit 12 Metern so groß wie die von Apex, soll in der Atacama-Wüste in Chile Radiowellen im Millimeterbereich empfangen. Alle Antennen können zusammengeschaltet werden und gemeinsam die Radiowellen empfangen, die – anders als sichtbares Licht – die Staubhüllen um entstehende Sterne und Galaxien durchdringt.

European Southern Observatory (ESO), Garching



1

**Software Telescope** Cosmologists assume that gas in the fledgling universe was highly ionized. Approximately 450,000 years after the Big Bang, this gas was transformed into neutral atoms until the first ionized radiation sources ionized it again. Scientists at the Max Planck Institute for Radio Astronomy plan to monitor this process with 40,000 antennas mounted in Europe which are linked through a fiber optic network and extremely sophisticated software.

**Ein Software-Teleskop** Kosmologen nehmen an, dass Gas im jungen Weltraum stark ionisiert war. Etwa 450.000 Jahre nach dem Urknall bildeten sich daraus neutrale Atome, bis die ersten ionisierenden Strahlungsquellen das Gas wieder ionisierten. Diesen Prozess wollen Forscher des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie mit 40.000 in Europa montierten Antennen verfolgen, die über ein Glasfasernetz und aufwändigster Software zusammengeschaltet werden.

**Wenn die Schwerkraft den Raum verbiegt** Ein Teleskop der anderen Art ist das Experiment GEO600, an dem das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik beteiligt ist. Ein Lichtstrahl wird in zwei Strahlen aufgeteilt, die senkrecht aufeinander stehen. Gravitationswellen, die zum Beispiel in rotierenden Schwarzen Löchern entstehen, verformen die beiden Lichtstrecken unterschiedlich und sollen so nachgewiesen werden.

GEO600/University of Hanover/Hanover branch of the MPI for Gravitational Physics, Potsdam

5 6

**The Big One** As the flagship of the European Southern Observatory (ESO), the Very Large Telescope (VLT) is equipped with four eight-meter telescopes and several smaller ones which survey the night sky, detecting everything in the ultraviolet to infrared range. By photographing at different wavelengths and subtracting the images, pictures depicting the birth of galaxies can be obtained.

**Das Größte** Das Very Large Telescope (VLT) ist das Flaggschiff der Europäischen Südsternwarte (ESO): Vier acht Meter große Teleskope und einige kleinere, die den Nachthimmel vom ultravioletten bis zum infraroten Spektralbereich durchforsten. So lassen sich zum Beispiel Galaxien im Entstehen aufnehmen, indem man sie in verschiedenen Wellenlängen fotografiert und die Bilder subtrahiert.

European Southern Observatory (ESO), Garching

4 7

**Gigantic Binoculars with Computer Spectacles** The Large Binocular Telescope (LBT) is made up of two parallel telescopes, each equipped with an eight-meter mirror, designed with adaptive optics allowing instant deformation of the mirrors in the light path to compensate for atmospheric disturbances. This adaptive optics system, developed at the Max Planck Institute for Astronomy, permits the VLT to produce sharper infrared pictures than the Hubble space telescope.

**Ein Riesensfeldstecher mit Computerbrille** Das Large Binocular Telescope (LBT) besteht aus zwei parallel angeordneten Teleskopen, deren Acht-Meter-Spiegel mit einer adaptiven Optik ausgestattet sind, die die Spiegel im Strahlengang blitzschnell so verformt, dass atmosphärische Unruhen ausgeglichen werden. Die Optik, entwickelt am Max-Planck-Institut für Astronomie, ermöglicht beim VLT schärfere Infrarot-Bilder als das Weltraumteleskop Hubble.

Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg

LOFAR

2

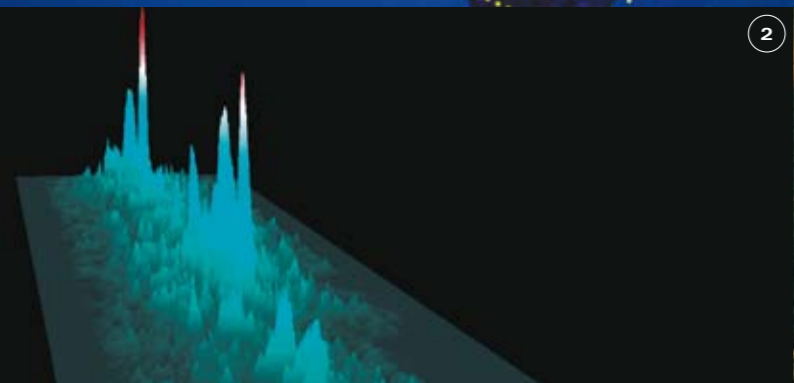
**Magic Eye** Similar to MAGIC, the HESS telescope array in Namibia registers Gamma-rays of remote galaxies, quasars and supernova remnants. It detects light flashes that occur when Gamma quanta penetrate the earth's atmosphere, creating a type of optical sonic boom. Through this process, scientists have been able to discover eight powerful Gamma sources in the Milky Way.

**Ein magisches Auge** In Namibia registriert das Teleskop-Ensemble HESS, ähnlich wie MAGIC, die kosmische Gamma-Strahlung ferner Galaxien, Quasare und Supernovae-Reste. Es weist Lichtblitze nach, die beim Eindringen der Gammaquanten in die Erdatmosphäre entstehen – eine Art optischer Überschallknall. So entdeckte man acht intensive Gammaquellen in der Ebene der Milchstraße.

HESS Collaboration

3

**When Gravity Bends Space** A very different type of telescope is the GEO600, an experiment in which the Max Planck Institute for Gravitational Physics is involved: a light ray is divided into two rays that are positioned vertically on top of one another. Gravitational waves which are generated in rotating black holes deform the two light ray portions in different ways. This should make it possible to detect the waves.



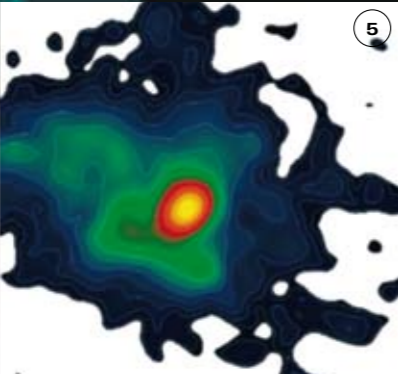
2



3



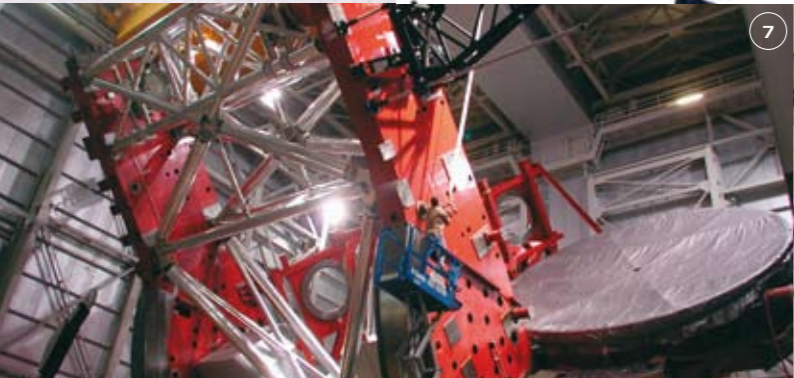
4



5



6



7





1 5

**Unknown Gamma Sources** Cosmic Gamma radiation and X-rays have one thing in common: they are best observed in space. This is accomplished, for example, with the International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory (Integral). This telescope has already revealed a number of surprises: Researchers at the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics have discovered previously unknown black holes and dozens of mysterious Gamma sources in the Milky Way.

**Unbekannte Gammaquellen** Für kosmische Gammastrahlung gilt dasselbe wie für Röntgenlicht: Man sieht sie am Besten im All – zum Beispiel mit dem International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory Integral. Das Teleskop enthüllte bereits eine ganze Reihe Überraschungen: Forscher des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik entdeckten damit unbekannte Schwarze Löcher und Dutzende rätselhafte Gammaquellen in der Milchstraße.

ESA  
ESA/F. Lebrun (CEA-Saclay)

2

**X-ray Eye of the Future** Various Max Planck Institutes are currently planning an X-ray telescope, together with the University of Tübingen (IAAT). Based on the ISS space station, Rosita is to examine the sky for medium X-rays more closely than ever before. There are also plans to systematically map all black holes in the nearby galaxies and in the 170,000 remote ones.

**Das Röntgenauge von Morgen** Die Weltraumstation ISS soll die Basis für ein Röntgenauge werden, das verschiedene Max-Planck-Institute derzeit zusammen mit der Universität Tübingen (IAAT) planen. Rosita soll den Himmel im mittleren Röntgenbereich so genau untersuchen, wie es noch nie geschehen ist. Dabei will man, unter anderem, systematisch alle Schwarzen Löcher in den nahen und über 170.000 fernen Galaxien kartieren.

Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

3

**Seeing Stars in a Different Light** Space is full of X-ray sources, especially hot, accelerated plasma, which occurs, for example, at the edge of black holes and in neutron stars (figure). These sources cannot be detected by ground-based telescopes since X-rays are swallowed up by the earth's atmosphere. Therefore, to observe X-rays, a space telescope, like the ESA X-ray satellite XMM-Newton, is required.

**Sterne in anderem Licht besehen** Der Weltraum ist voll von Röntgenquellen, vor allem heißem und beschleunigtem Plasma – zum Beispiel am Rand von Schwarzen Löchern oder bei Neutronensternen (Bild). Diese Quellen kann man mit irdischen Teleskopen nicht sehen: Röntgenstrahlung wird von der Atmosphäre verschluckt. Daher braucht man zu ihrer Beobachtung Weltraumteleskope wie den ESA-Röntgensatelliten XMM-Newton.

ESA, P. Caraveo (IASF, Milan)

4

**Ice Cubes in Space** Currently in the works, ESA's Herschel Space Telescope will specialize in infrared light. With an ice-cold 3.5-meter mirror, the telescope is equipped to see the invisible: cold, remote stars, for example, that emit only minimal amounts of infrared light. The Herschel telescope will be launched together with the Planck satellite in order to study cosmic background radiation.

**Eiswürfel im All** Infrarotlicht ist der Arbeitsbereich des kommenden Herschel Space Telescope der ESA. Mit einem eiskalten 3,5-Meter-Spiegel soll das Teleskop unter die Lupe nehmen, was im sichtbaren Bereich nicht zu sehen ist: Kalte, ferne Sterne zum Beispiel, die nur ein wenig infrarotes Licht aussenden. Herschel wird zusammen mit dem Satelliten Planck gestartet, einem Projekt zur Untersuchung der kosmischen Hintergrundstrahlung.

ESA/Medialab

# GLIMPSES INTO SPACE



1

OASIS FOR ASTRONOMERS IN THE DESERT

2

GIANT BOWL IN EFFELSBERG

3

FIELD GLASSES FOR THE UNIVERSE

4

GRAVITATIONAL WAVE

**1**  
**The Very Large Telescope of the ESO in Chile** A clear sky at a height of 2,600 meters with a stable atmosphere and in the driest part of the world: the Cerro Paranal in the middle of Chile's Atacama Desert is the ideal place for astronomers. This is the location of the Very Large Telescope (VLT) of the European Southern Observatory (ESO). It is a large telescope formed by four single telescopes. The centerpiece of the installation is the eight meter wide telescope mirror, which took years of work to manufacture in Germany. Only the telescopes and the control center are up on the mountain – the accommodation is some hundreds of meters lower down.

**2**  
**The 100 Meter Radio Telescope** With its diameter of 100 meters, the radio telescope in Bad Muenstereifel-Effelsberg is one of the two largest fully directional radio telescopes in the world. It is tied into a global network of radio telescopes that together – using interferometry – generate particularly high resolution images of radio sources. Such sources are, for example, black holes from which gas streams are shot out at almost the speed of light. Or fast rotating ultra-compact neutron stars – the remnants of a supernova explosion.

**3**  
**The Large Binocular Telescope** The world's largest single telescope stands on the 3,190 meter high Mount Graham in Arizona. This completely new type of instrument consists of two huge collecting mirrors each with a diameter of 8.4 meters installed on a common mounting which can be simultaneously directed to distant heavenly bodies. The principle is the same as field glasses, hence the name of Large Binocular Telescope (LBT). It would be capable of detecting a burning candle some 2.5 million kilometers away – which is equivalent to six times the distance from the earth to the moon.

European Southern Observatory (ESO), Garching  
Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg  
Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

**Das 100-Meter-Radioteleskop** Das Radioteleskop in Bad Münstereifel-Effelsberg ist mit seinem Durchmesser von 100 Metern eines der beiden größten vollbeweglichen Radioteleskope der Erde. Es ist in ein globales Netzwerk von Radioteleskopen eingebunden, die zusammen – durch Interferometrie – besonders hochauflösende Bilder von Radioquellen liefern. Solche Quellen sind zum Beispiel Schwarze Löcher, aus denen Gasströme mit fast Lichtgeschwindigkeit heraus-schießen. Oder schnell rotierende, ultra-kompakte Neutronensterne – Überbleibsel einer Supernova-Explosion.

Max Planck Institute for Radio Astronomy, Bonn

**3**  
**The Large Binocular Telescope** The world's largest single telescope stands on the 3,190 meter high Mount Graham in Arizona. This completely new type of instrument consists of two huge collecting mirrors each with a diameter of 8.4 meters installed on a common mounting which can be simultaneously directed to distant heavenly bodies. The principle is the same as field glasses, hence the name of Large Binocular Telescope (LBT). It would be capable of detecting a burning candle some 2.5 million kilometers away – which is equivalent to six times the distance from the earth to the moon.

**Das Large Binocular Telescope** Das weltweit größte Einzelteleskop steht auf dem 3.190 Meter hohen Mount Graham in Arizona. Dieses gänzlich neuartige Instrument verfügt über zwei riesige Sammelspiegel mit jeweils 8,4 Metern Durchmesser, die – auf einer gemeinsamen Montierung installiert – gleichzeitig auf ferne Himmelskörper ausgerichtet werden. Das Prinzip gleicht dem eines Feldstechers, daher der Name Large Binocular Telescope (LBT). Mit ihm ließe sich das Licht einer brennenden Kerze noch in 2,5 Millionen Kilometern Entfernung nachweisen – das entspricht dem sechsfachen Abstand Erde – Mond.

Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg  
Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

**4**  
**Gravitational Wave Detector at Hanover** Gravitational waves are generated when masses are strongly accelerated – for example when supernovae explode. To detect such gravitational waves, which come from space and impact the earth, researchers have installed two 600 meter long tubes perpendicular to each other in a field near Hannover. The two laser beams in the tubes are altered differently by a gravitational wave. The wave trains are displaced by a miniscule amount with respect to each other – which can be detected by a comparison of the two beams.

**Gravitationswellendetektor bei Hannover** Gravitationswellen entstehen, wenn Massen stark beschleunigt werden – zum Beispiel bei Supernova-Explosionen. Zum Nachweis solcher Gravitationswellen, die aus dem All kommend auch die Erde treffen, haben Forscher zwei 600 Meter lange Röhren senkrecht zueinander auf ein Feld in der Nähe von Hannover gestellt. Die beiden Laserstrahlen in den Röhren werden nun durch eine eintreffende Gravitationswelle unterschiedlich verändert. Ihre Wellenzüge verschieben sich dadurch um eine Winzigkeit gegeneinander – was man durch einen Vergleich der beiden Strahlen feststellen kann.

Max Planck Institute for Gravitational Physics, Hanover and Potsdam

**BLACK HOLES AND GALAXIES****SCHWARZE LÖCHER UND GALAXIEN**

①

**Dance of the Black Holes** Black holes occur rather commonly in the universe – in the Milky Way, alone, scientists have already identified dozens of them. Scientists at the Max Planck Institute for Gravitation Physics have simulated what happens when two such singularities collide. They send out enormous gravitational waves and stir up space-time like thick honey. The color portions indicate their curvature.

**Tanz der Schwarzen Löcher** Schwarze Löcher sind keine Seltenheit im All – allein in unserer Milchstraße konnte man bereits mehrere Dutzend ausmachen. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik haben simuliert, was geschieht, wenn sich zwei solche Singularitäten treffen: Sie strahlen gehörig Gravitationswellen ab und verrühren dabei die Raumzeit wie zähen Honig. Deren Krümmung wird durch die Farbe angegeben.

Max Planck Institute for Gravitation Physics, Potsdam/Konrad Zuse Institute, Berlin

②

**... and the Galaxies** Galaxies can also rotate around each other and be distorted through enormous gravitational forces. They have been moving like this over millions of years, dragging along behind them the tails of stars and gases. Photographs like this one can also provide researchers with useful information on the life of galaxies.

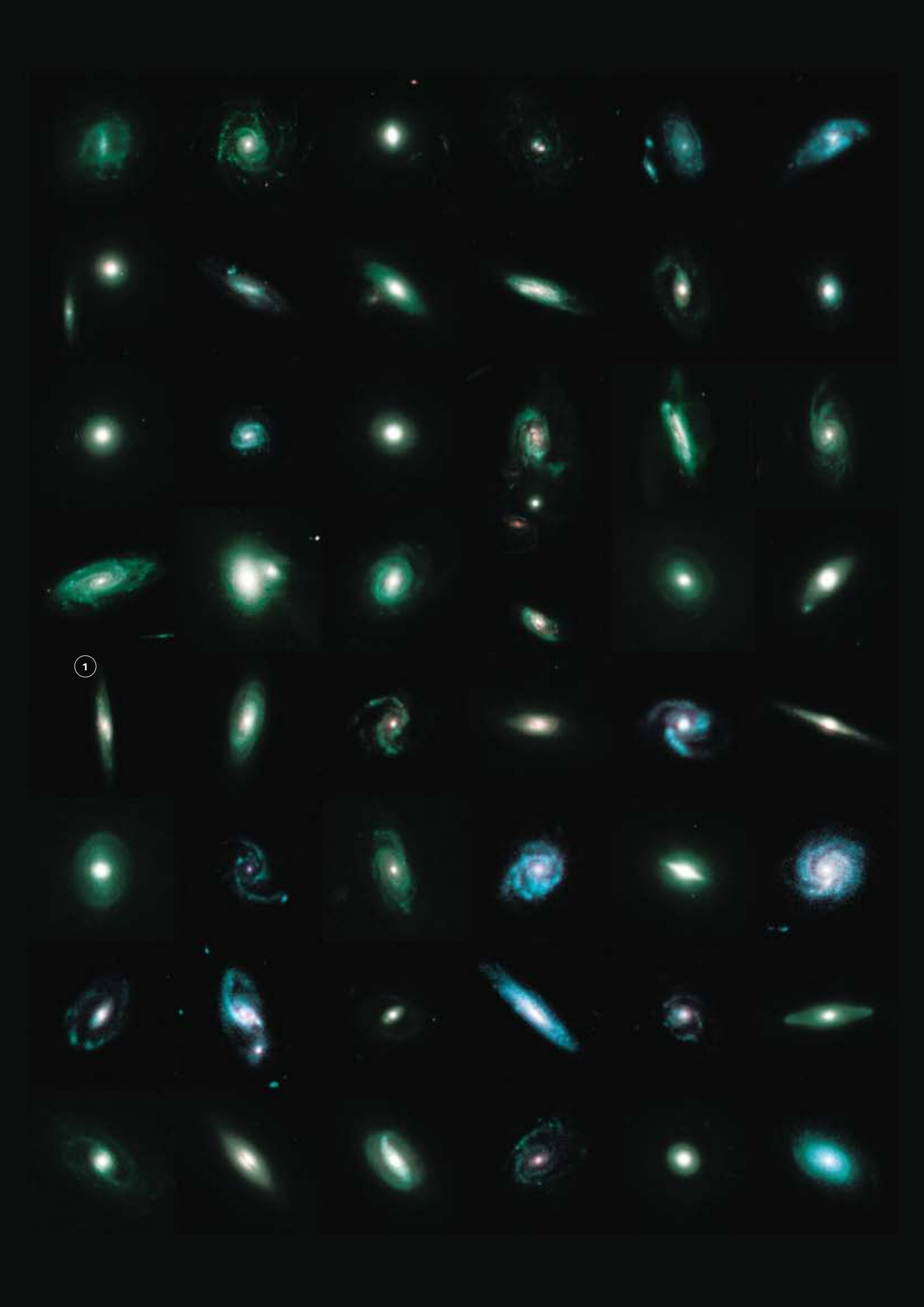
**... und der Galaxien** Auch Galaxien können umeinander rotieren und durch die gewaltigen Gravitationskräfte in ihrer Form verzogen werden. Über Millionen von Jahren hinweg bewegen sie sich so, während sie Schweife aus Sternen und Gas hinter sich herziehen. Auch an solchen Bildern können Forscher etwas über das Leben von Galaxien lernen.

NASA/ESA/Hubble Heritage Team (STScI)

①

②





1

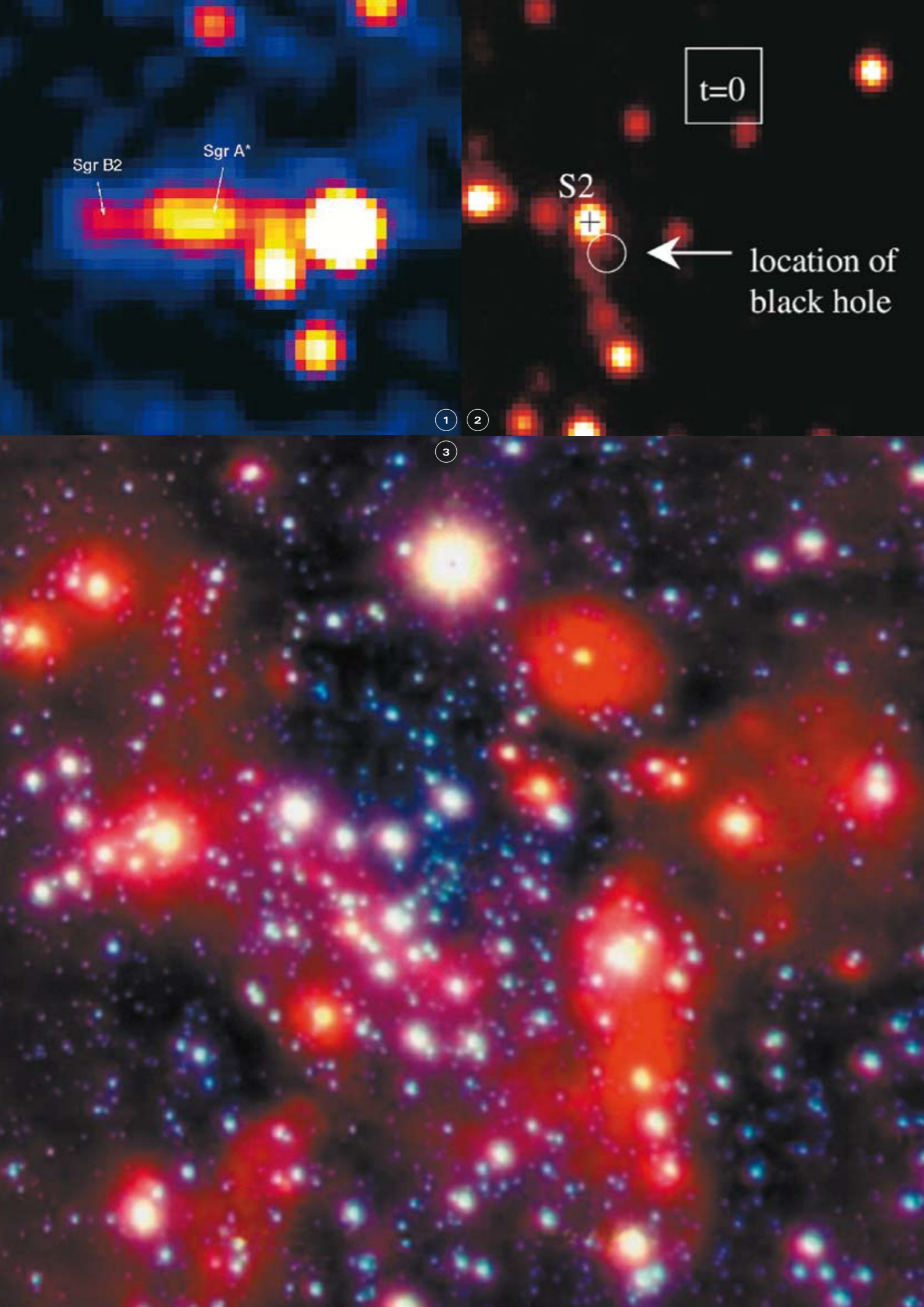
**The Life of Our Galaxy** Galaxy Evolution from Morphology and Spectral Energy Distributions is the name of an international research project headed by the Max Planck Institute for Astronomy. GEMS, for short, the aim of this project is to reconstruct the life of a galaxy such as ours. Depending on their distance to the earth, the 40,000 galaxies photographed by the Hubble space telescope for the GEMS project are of different ages. The light of galaxies that are further away takes longer to reach us. The GEMS image permits us to look nine billion years into the past – 4.5 billion years earlier than the birth of our solar system.

With this information, scientists plan to clarify various questions, like those regarding our galaxy's bar structure. Represented by elongated clusters in the galaxy's core, these structures impact interstellar gas dynamics, forcing gas into the center and triggering the formation of stars. GEMS mission is to determine when and how these clusters originated.

**Der Lebenslauf unserer Galaxie** GEMS – Galaxy Evolution from Morphology and Spectral Energy Distributions – heißt ein internationales Forschungsprojekt unter der Leitung des Max-Planck-Instituts für Astronomie. Das Projekt soll den Lebenslauf einer Galaxie wie der unseren rekonstruieren. Abhängig von ihrer Entfernung haben die 40.000 Galaxien, die für GEMS mit dem Weltraumteleskop Hubble aufgenommen wurden, nämlich ein unterschiedliches Alter: Das Licht entfernter Galaxien braucht länger, bis es bei uns ankommt. So kann man auf dem GEMS-Bild neun Milliarden Jahre in die Vergangenheit blicken – 4,5 Milliarden weiter als das Alter unseres Sonnensystems.

Damit sollen Fragen wie die nach der Balkenstruktur unserer Galaxie geklärt werden: Längliche Verdichtungen im Galaxienzentrum beeinflussen die Dynamik des interstellaren Gases, treiben es in den zentralen Bereich und können Sternbildungen auslösen. Wann und wie sie entstanden sind, soll GEMS beantworten.

GEMS Cooperation



① ② ③

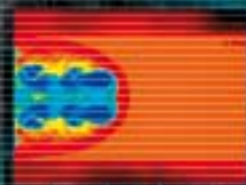
**Supermassive Hole at the Center** Extending just a few light years from the center of the Milky Way is a cluster of thousands of stars. Scientists at several Max Planck Institutes have been observing this cluster for many years and measuring star movement. Consequently, they were able to confirm what had been suspected for years: our galaxy's core (3) harbors a black hole with a mass of 3.6 million times that of the sun. Relatively close to us, this black hole serves as a type of laboratory for astrophysicists, enabling them to study it, particularly in the near infrared and Gamma ranges (1). Based on Gamma-ray findings, scientists now know that the black hole was significantly more active several hundreds of years ago, radiating a million times more intensively at its edges. Despite today's diminished activity, scientists at the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics were able to witness one of the rare flares (2), in which gas collapses into the black hole. However, a significant portion also evaporates as wind – why this is the case has yet to be explained.

**Ein supermassives Loch in der Mitte** In der zentralen Region unserer Milchstraße finden sich innerhalb weniger Lichtjahre Tausende Sterne in einem dichten Sternenhaufen. Wissenschaftler mehrerer Max-Planck-Institute beobachteten diesen Haufen über Jahre hinweg und vermaßen die Bewegungen seiner Sterne. So konnten sie bestätigen, was jahrelang vermutet worden war: Das Zentrum unserer Galaxie (3) enthält ein Schwarzes Loch von etwa 3,6 Millionen Sonnenmassen. Verhältnismäßig nahe zu uns gelegen, ist es für die Astrophysiker eine Art Labor, das sie vor allem im nahen Infrarot- und im Gammabereich (1) unter die Lupe nehmen. Die Untersuchungen im Gammabereich zeigten inzwischen, dass das Schwarze Loch vor einigen hundert Jahren wesentlich aktiver war und an seinem Rand Millionen Mal mehr gestrahlt haben muss als heute. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik konnten jedoch einen der seltenen Ausbrüche (Flares, 2) beobachten, bei denen Gas ins Schwarze Loch stürzt. Ein beträchtlicher Teil dampft aber als Wind ab – warum, ist bislang nicht geklärt.

ESO/VLT  
ESA, M. Revnivtsev (IKI/Max Planck Institute for Astrophysics, Garching)  
ESO/Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching

# BLACK HOLES AND GALAXIES

$10^8$  |  $10^9$  |  $10^{10}$  |  $10^{11}$  |  $10^{12}$  |  $10^{13}$  |  $10^{14}$  |  $10^{15}$  |  $10^{16}$  |  $10^{17}$  |  $10^{18}$  |  $10^{19}$  |  $10^{20}$  |  $10^{21}$  |  $10^{22}$



COSMIC JETS



PAIR-SKATING INTO DEATH



GRAVITATIONAL LENSES



EYES FOR HARD RAYS

1

**Gas Streams From Black Holes** Many galaxies have a dense black hole at their center. This devours gas and stars from its surroundings. In the process, two interrelated streams of matter are created which are capable of expanding at almost the speed of light. These jets extend perpendicular to the galaxy for hundreds of thousands of light-years into intergalactic space, visible by their intense radio emissions.

**Gasströme aus Schwarzen Löchern** Viele Galaxien haben in ihrem Zentrum ein massereiches Schwarzes Loch. Dieses verschlingt Gas und Sterne aus seiner Umgebung. Dabei entstehen zwei gebündelte Materieströme, die sich fast mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten können. Diese Jets erstrecken sich senkrecht zur Galaxie Hunderttausende von Lichtjahren in den intergalaktischen Raum, sichtbar durch ihre intensive Radiostrahlung. Die Ausbreitung solcher Jets wird am Max-Planck-Institut für Astrophysik mit Hilfe von Computern simuliert.

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

2

**Double Neutron Stars Fuse** Pairs of neutron stars are sources of gravitational waves. According to the General Theory of Relativity the distance between them shrinks continuously. But it takes hundreds of millions of years for them to approach each other by only a few kilometers. They rotate around each other at about 20 percent of the speed of light. In only a thousandth of a second they fuse with each other and heat up to more than 100 billion degrees. Shortly after fusion, the remains coalesce to form a black hole.

**Doppelneutronensterne verschmelzen** Paare von Neutronensternen sind Quellen von Gravitationswellen. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie schrumpft daher ihr Bahnabstand ständig. Es vergehen jedoch Hunderte von Jahrtausenden, bis sie sich auf wenige Kilometer angenähert haben. Sie umkreisen sich dann mit rund 20 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. In nur einer Tausendstel Sekunde verschmelzen sie miteinander und erhitzen sich dabei auf mehr als 100 Milliarden Grad. Kurz nach der Verschmelzung fällt der Überrest zu einem Schwarzen Loch zusammen.

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

3

**Light Deflection by Gravitation** Einstein's General Theory of Relativity describes space as a dynamic and flexible entity which curves in the vicinity of matter. Light rays which enter such a curved region of space would be deflected and bent from their straight paths – similar to the interior of a glass lens. In this way a cluster of galaxies with its gravitational field can also work as an optical lens. From the earth, astronomers see objects which lie far beyond clusters as distorted, enlarged and occasionally considerably magnified.

**Lichtablenkung durch Gravitation** Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt den Raum als dynamisches, flexibles Gebilde, das sich in der Umgebung von Materie krümmt. Lichtstrahlen, die in ein solches Gebiet der Raumkrümmung hineingeraten, werden von ihrem geradlinigen Weg abgelenkt und gebogen – ähnlich wie im Inneren einer Glaslinse. Auf diese Weise kann auch ein Galaxienhaufen mit seinem Schwerefeld als optische Linse wirken. Auf der Erde sehen die Astronomen dann weit hinter dem Haufen liegende Objekte verzerrt, vergrößert und zum Teil deutlich verstärkt.

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching

4

**Further HESS Telescope in Namibia** Scientists suggest that at the center of our galaxy there is not only a black hole, but also many clouds of dust and debris from supernovae explosions and accumulations of dark matter. With the High Energy Stereoscopic System (HESS) in Namibia these objects can be scrutinized more closely. It consists of four telescopes and is capable of detecting Gamma radiation with energies of many million-million ( $10^{12}$ ) electron volts. At the beginning of 2008 the facility will be expanded by a larger single telescope – HESS II.

**Weiteres HESS-Teleskop in Namibia** Im Zentrum unserer Galaxis vermuten Wissenschaftler nicht nur ein Schwarzes Loch, sondern auch zahlreiche Supernova-Explosionswolken und Ansammlungen Dunkler Materie. Mit dem High Energy Stereoscopic System (HESS) in Namibia nehmen sie diese Objekte genauer unter die Lupe. Es besteht aus vier Teleskopen und kann Gammastrahlung mit der Energie von vielen Billionen ( $10^{12}$ ) Elektronen-Volt detektieren. Zum Vergleich: Sichtbares Licht hat zwischen zwei und drei Elektronen-Volt. Anfang 2008 wird ein größeres Einzelteleskop – HESS II – die Anlage erweitern.

Max Planck Institute for Nuclear Physics, Heidelberg  
MAN Technologie AG, Mainz

### Research Institutes

#### Forschungsinstitute

Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg  
Max Planck Institute for Astrophysics, Garching  
Max Planck Institute for Gravitational Physics, Hanover and Potsdam  
Max Planck Institute for Nuclear Physics, Heidelberg  
Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching  
Max Planck Institute for Radio Astronomy, Bonn  
European Southern Observatory (ESO), Garching

### International Research Schools

#### Internationale Graduiertenschulen

IMPRS for Astronomy and Cosmic Physics at the University of Heidelberg, Heidelberg  
IMPRS for Astrophysics, Garching  
IMPRS for Geometric Analysis, Gravitation and String Theory, Potsdam  
IMPRS on Elementary Particle Physics, Munich  
IMPRS for Radio and Infrared Astronomy, Bonn  
IMPRS on Gravitational Wave Astronomy, Hanover  
IMPRS for Quantum Dynamics in Physics, Chemistry and Biology, Heidelberg

### European Projects and Networks

#### Europäische Forschungsprojekte und Netzwerke

Atacama Large Millimeter Array (ALMA) High Energy Stereoscopic System (HESS)  
Laser Interferometer Space Antenna (LISA)  
Optical Infrared Coordination Network for Astronomy (OPTICON)  
Marie-Curie Training Site at the IMPRS in Astrophysics, Garching  
Advanced Radio Astronomy in Europe (RADIONET)

### This area is supported by

#### Dieser Bereich wird unterstützt durch

