

# Das Universum

P. Ulmschneider, Vom Urknall zum modernen Menschen, DOI 10.1007/978-3-642-29926-1\_1,  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Jahrhundertelange Entwicklung von astronomischen Teleskopen, modernen Instrumenten und analytischen Untersuchungsmethoden sowie, in neuester Zeit, von umfangreichen Computersimulationen deuten darauf hin, dass Urknall und Kältetod den Anfang und das Ende unserer Welt markieren. Weltmodelle und präzise Beobachtungen erlauben, die Entwicklung von extrem heißen Frühphasen des Universums, in der die chemischen Elemente entstanden sind, bis zur Bildung von Sternen, Galaxien und den Strukturen des heutigen Weltalls nachzuvollziehen. Zusätzlich ermöglichen sie, das zukünftige Schicksal unserer Welt vorherzusagen.

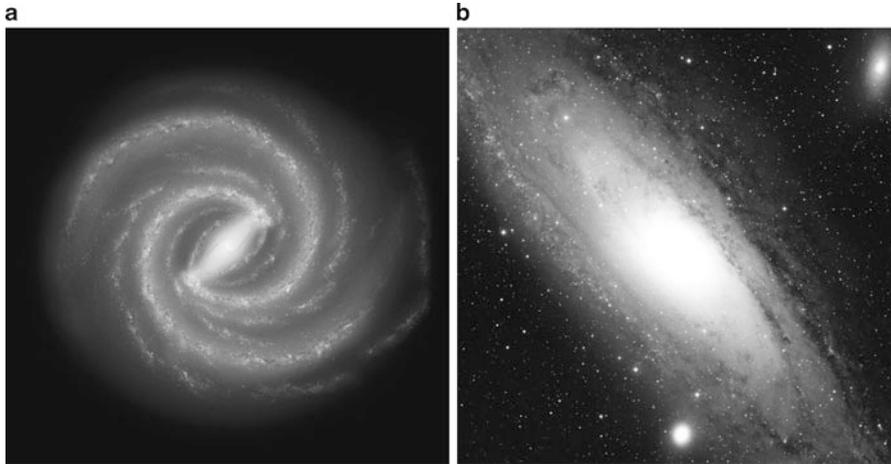
## 1.1 Die Milchstraße und Galaxien

---

Schon um 480 v. Chr. wusste der vorsokratische griechische Philosoph Parmenides von Elea (nach Diogenes Laertius ca. 200 n. Chr., Leben und Meinungen berühmter Philosophen), dass unsere Erde eine Kugel ist. Ihren wahren Umfang bestimmte erstmals der griechische Mathematiker Erathostenes um 240 v. Chr. In der Antike und im Mittelalter ging man davon aus, dass die Erde im Zentrum des Universums stehe (*geozentrisches System*). Dieses Weltbild erschütterte um 1530 der deutsch-polnische Mathematiker und Arzt Nikolaus Kopernikus, indem er antike Vorstellungen aufgriff und postulierte, dass die Erde als Planet zusammen mit den damals bekannten fünf Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn um die Sonne kreise. Den eindeutigen Nachweis für dieses *heliocentrische System* lieferte zwischen 1609 und 1618 der deutsche Astronom und Mathematiker Johannes Kepler mit der Entdeckung der drei nach ihm benannten Gesetze. Der englische Physiker und Mathematiker Isaak Newton bestätigte dies 60 Jahre später mit den Bewegungsgleichungen und dem Gravitationsgesetz, aus denen er die Kepler-Gesetze ableiten konnte. Die endgültige Bestätigung dieses Systems gelang 1838 dem deutschen Mathematiker Friedrich Wilhelm Bessel mit der ersten Bestimmung der Entfernung zu einem anderen Stern.

Im Jahr 1923 zeigte der amerikanische Astronom Edwin Hubble, dass unser Sonnensystem zu einer riesigen Galaxis – der Milchstraße – gehört, einer scheibenförmigen Ansammlung von ca. 200 Mrd. Sternen mit einem Durchmesser von etwa 100.000 Lj (1 Lichtjahr [Lj] =  $9,46 \times 10^{15}$  m). Zwei Jahre später entdeckte er, dass es sich beim Andromedanebel M 31 ebenfalls um eine Galaxie handelt. Abbildung 1.1 zeigt links unsere Heimatgalaxis als eine zweiarmlige Balkenspirale mit einer Balkenlänge von 27.000 Lj, deren Zentrum die Sonne im Abstand von 26.000 Lj umkreist, und rechts den doppelt so großen Andromedanebel, der 2,5 Mio. Lj entfernt liegt.

Zusammen mit einer Reihe weiterer Galaxien gehören beide zur sogenannten Lokalen Gruppe, die zusammen mit anderen den Virgo-Galaxienhaufen bildet, dessen Zentrum sich in einer Entfernung von 60 Mio. Lj befindet. Mittlerweile ist bekannt, dass eine riesige Zahl von Galaxienhaufen mit typischerweise jeweils 50–1000 Mitgliedern ein weitläufiges Universum bevölkert, das mit etwa 100 Mrd. Galaxien und zusammen etwa  $10^{23}$  Sternen einen Durchmesser von mehr als 30 Mrd. Lj besitzt.



■ **Abb. 1.1** Unsere Galaxis (a) und im gleichen Maßstab der Andromedanebel M 31 (b) mit den elliptischen Zwerggalaxien M 32 (*unten*) und M 110 (*oben*) (NASA/JPL-Caltech)



■ **Abb. 1.2** Langzeitaufnahme (Hubble Deep Field) mit dem Hubble Space Teleskop (STScI und NASA)

Abbildung 1.2 zeigt eine mit dem Hubble Space Teleskop gewonnene Langzeitaufnahme eines winzigen Gebietes im Sternbild Ursa Major, das eine Überlagerung von 342 Einzelbildern darstellt, die in 10 Tagen im Dez. 1995 aufgenommen wurden. Bis auf wenige zur Milchstraße gehörenden Vordergrundsterne sind alle Lichtfleckchen in diesem Bild Galaxien. Ihre Ausdehnung wird mit der Entfernung immer kleiner, wobei die winzigsten Lichtpünktchen von Galaxien stammen, die bis zu 10 Mrd. Lj entfernt liegen.

Die erwähnten Gesamtzahlen an Galaxien ergeben sich aus Zählungen in wie in Abb. 1.2 dargestellten Himmelsgebieten und anschließenden Hochrechnungen auf das ganze Himmelsgewölbe. Abbildung 1.2 zeigt weit in der Vergangenheit liegende Zustände, da die wenigen eingefangenen Lichtquanten Milliarden Jahre unterwegs waren, bevor sie in der Digitalkamera des Hubble Space Teleskops absorbiert wurden. Dabei dürften die meisten der ca.  $10^{55}$  Photonen, die pro Sekunde von solchen Galaxien in alle Himmelsrichtungen ausgesandt wurden, nie eingefangen werden, sondern ewig weiterfliegen (Abschn. 1.17.2).

## 1.2 Teleskope

---

Zwei wichtige technische Errungenschaften stellen die Grundlage für unser heutiges Bild des Universums dar: die Erfindung des *Fernrohrs*, das die Welt jenseits des Sonnensystems zu erkunden erlaubte und die Entwicklung von *Entfernungsbestimmungsmethoden*, die es ermöglichen, die Natur der beobachteten Objekte zu verstehen und richtig einzuordnen. Bis heute bringt jedes weiterentwickelte astronomische Beobachtungsinstrument fast unweigerlich neue umwälzende Erkenntnisse.

Warum wurde das aus zwei Linsen und einem Rohr zur Ausblendung des Streulichts bestehende Fernrohr, das erstmalig 1608 von Niederländern konstruiert und 1609 von Galileo Galilei und 1611 von Johannes Kepler für astronomische Zwecke verbessert nachgebaut wurde, nicht bereits in der Antike entwickelt? Wurden doch in der assyrischen (um 700 v. Chr.) und klassisch-griechischen Zeit (um 400 v. Chr.) bereits Linsen als Brenn- und Vergrößerungsgläser hergestellt und war die Mathematik der Kegelschnitte bereits Euklid (ca. 360–280 v. Chr.) und Apollonius von Perge (ca. 262–190 v. Chr.) bekannt. Der Grund liegt in der schlechten Qualität der frühen Linsen. Erst der Fortschritt bei den hochwertigeren homogenen Muranogläsern zur Zeit Galileis erlaubte es, astronomische Fernrohre zuerst mit dreifacher und später mit dreißigfacher Vergrößerung zu konstruieren.

Mit Galileis Entdeckungen begann eine Revolution in der Astronomie, die u. a. den berühmten Refraktor des Yerkes Observatory (1897), die Spiegelteleskope des Mt. Wilson Observatory (1917) und des Mt. Palomar Observatory (1948) hervorbrachte. Mithilfe des Spiegelteleskops auf Mt. Wilson gelang es Hubble 1925 im Andromedanebel Cepheiden, pulsierende Sterne, zu entdecken und damit den bereits erwähnten Nachweis zu erbringen, dass es sich bei dem Andromedanebel um eine Galaxie handelt. Die schnelle Entwicklung zu immer größeren und mächtigeren astronomischen Teleskopen hält bis in die neueste Zeit an.

Abbildung 1.3 zeigt die vier Spiegelteleskope der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf dem Cerro Paranal in Chile, die zum Very Large Telescope (VLT) gehören. Ihre Hauptspiegel haben einen Durchmesser von 8 m und können zu einem interferometrischen Gesamtteleskop mit einer Öffnung von maximal 130 m zusammenschaltet werden. Die Spiegel sind mit einer *aktiven Optik* ausgestattet, um stets die Idealform zu bewahren, und sollen noch mit einer *adaptiven Optik* ausgerüstet werden, die es erlaubt, die Luftunruhe zu kompensieren und im sichtbaren und infraroten Spektralbereich außergewöhnlich scharfe Bilder zu erzeugen.

Das zunehmende Interesse an Beobachtungen im Radiofrequenzbereich, der es erlaubt, tief in Staubwolken und Gebiete der Sternentstehung vorzudringen, hat zum Bau von großen Radioteleskopen wie dem Arecibo Observatory auf Puerto Rico mit seinem 305 m Spiegel geführt sowie zu ausgedehnten Arrays von Radioantennen mit einer Basislänge, die praktisch den Durchmesser der Erde erreicht wie das zehn Radioteleskope umfassende Very Long Baseline Array (VLBA) (Abb. 1.4a).