

3D-Spektroskopie zum Nachweis Dunkler Materie

-

Spektrograph mit dem weltweit größten Gesichtsfeld in Betrieb

Eine am Astrophysikalischen Institut Potsdam (AIP) entwickelte innovative Faseroptik hat ein neues Kapitel zur Erforschung Dunkler Materie eröffnet. Mit dem weltweit größten Gesichtsfeld ermöglicht das System erstmals einen „Panoramablick“ auf Scheibengalaxien in ihrer Gesamtheit. Durch simultane Spektroskopie in jedem einzelnen Bildpunkt kann man der großräumigen Verteilung Dunkler Materie auf die Spur kommen.

Eine der interessantesten und aktuellsten Fragestellungen in der Astrophysik ist das Rätsel der Dunklen Materie. Beobachtungsbefunde zeigen, dass etwa 90% der Materie im Kosmos als sogenannte Dunkle Materie vorliegen. Diese Hauptkomponente des Universums leuchtet zwar nicht, kann aber indirekt erschlossen werden, z.B. durch die Beobachtung von Rotationskurven ferner Galaxien. Auch am AIP wird in verschiedenen Forschungsprojekten versucht, mehr über die Natur und Verteilung der Dunklen Materie in Erfahrung zu bringen. Einerseits führen Theoretiker auf modernsten Supercomputern numerische Simulationsrechnungen zur Strukturbildung im Universum durch, die im Wesentlichen auf der Existenz Dunkler Materie aufbauen. Andererseits beobachtet eine Arbeitsgruppe um Martin Roth in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Universitäten in Groningen in den Niederlanden und in Wisconsin, USA, mit dem am AIP entwickelten PMAS-Instrument (Potsdam Multi-Aperture Spectrophotometer) die Verteilung der Dunklen Materie in und um einzelne Galaxien. Im Fokus steht hierbei die Untersuchung nahegelegener sogenannter „face-on“ Spiralgalaxien, deren Scheibe in senkrechter Aufsicht vollständig sichtbar ist. Bei diesen gut sichtbaren Objekten soll untersucht werden, wie genau die Dunkle Materie innerhalb der Scheibe bis hinaus in den die Galaxie umgebenden Halo verteilt ist. Die Anwesenheit Dunkler Materie macht sich nur durch ihre Gravitationswirkung bemerkbar. Dies wirkt sich auf die Kinematik der Galaxie aus, also auf das dynamische Verhalten der etwa hundert Milliarden Sterne, die auf ihren Umlaufbahnen um das Zentrum der Galaxie kreisen. Durch Spektroskopie des Sternenlichtes und Verwendung des Dopplereffekts kann die Kinematik einer Galaxie vermessen werden. Der Großteil der Galaxien außerhalb der Milchstrasse ist allerdings so weit von uns entfernt, dass die Sterne nicht mehr einzeln aufgelöst werden können, sondern zu einer diffus leuchtenden Lichtverteilung verschwimmen. Für die Spektroskopie ausgedehnter Flächenquellen eignet sich besonders die innovative Technik der

abbildenden Spektroskopie, auch 3D-Spektroskopie genannt. Sie bietet gegenüber herkömmlichen Methoden zwei erhebliche Vorteile: Erstens können mehrere hundert Spektren in einem zweidimensionalen Gesichtsfeld *gleichzeitig* aufgenommen werden. Es entfällt somit bei ausgedehnten Objekten, wie den zu untersuchenden „face-on“ Galaxien, die Notwendigkeit einer zeitraubenden und kostspieligen sequentiellen Abtastung (scannen). Jeder Bildpunkt des beobachteten zweidimensionalen Gesichtsfeldes liefert ein eigenes Spektrum, d. h. das Licht jedes einzelnen Punkts der Galaxie wird nach Wellenlängen zerlegt. Auf diesem Weg wird die spektrale Information unmittelbar in Abhängigkeit von ihrer räumlichen Verteilung aufgezeichnet, was für das Vermessen der Verteilung Dunkler Materie von zentraler Bedeutung ist. Zweitens ist es möglich, mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung auch geringste Flächenhelligkeiten am Rand der Galaxien noch auszuwerten. Bisher waren selbst die weltweit größten Teleskope mit den empfindlichsten Instrumenten nicht imstande, dieses Beobachtungsproblem zu lösen.

Seit Juli 2002 betreibt das AIP am Calar Alto 3.5m Spiegelteleskop in Südspanien den in Potsdam konstruierten und gefertigten 3D-Spektrographen PMAS (Potsdamer Multi-Apertur Spektrograph). Das auf 2160m Meereshöhe liegende Calar Alto Observatorium stellt den deutschen und spanischen Astronomen die größten Teleskope des europäischen Festlandes zur Verfügung. Mit seinen 256 Fasern kann PMAS Bilder und auch gleichzeitig 256 Spektren von kosmischen Objekten aufnehmen. Realisiert wird die simultane Datennahme durch optische Glasfasern, die das Licht zu einem hocheffektiven Spektrographen leiten. Auf diesem Weg kann nach der Analyse der Messdaten auf dem Computer ein dreidimensionaler „Datenkubus“ rekonstruiert werden, in dem die zwei Ortskoordinaten (Bild), und eine Wellenlängenkoordinate (Spektrum) simultan erfasst werden. Das Gesichtsfeld des Instruments wurde ursprünglich für die Untersuchung kleinskaliger Phänomene optimiert und war zu klein, um Galaxien zur Gänze in einer einzigen Belichtung zu erfassen. Aus diesem Grund wurde PMAS um eine technische Innovation erweitert, die in der Lage ist, das für die ausgedehnten Scheibengalaxien erforderliche Gesichtsfeld abzudecken. In der Rekordzeit von nur knapp einem halben Jahr wurde am AIP eine neue Integral-Field-Unit (IFU) entwickelt, die aus einem neuen, vergrößerten Glasfaserbündel und einer vorgeschalteten Linsenoptik besteht, dem PPAK-Instrument (Pmas fiber Pack). Diese Einheit ist jetzt in Betrieb gegangen. PPAK besteht aus 331 dicht gepackten optischen Glasfasern, die auf einer Fläche von nur etwa 11 mm^2 angeordnet sind. Jede einzelne dieser Fasern beobachtet einen Bildpunkt mit einem Durchmesser von 2,7 Bogensekunden am Himmel. Zusätzlich wird mit

sechs zusätzlichen Glasfaserbündeln die Hintergrundstrahlung des Nachthimmels gemessen. Weitere 15 Fasern dienen zur Wellenlängenkalibrierung der wissenschaftlichen Daten. Insbesondere die mikroskopische Anordnung von 400 Fasern auf engstem Raum, einem Sechseck der Ausmaße 5 x 5 mm, stellte für die Entwickler am AIP eine große technische Herausforderung dar (Abb.1). Mit einem Blickfeld von 74 x 65 Bogensekunden – das entspricht 0,14 Prozent der Vollmondfläche – ist PPAK der weltweit größte 3D-Spektrograph, der zusammenhängend ausgedehnte Objekte im Universum abtasten kann.

Die erste mit der neuen PPAK-IFU gewonnene wissenschaftlichen Aufnahme (Abb.2) zeigt die Galaxie mit der Katalogbezeichnung UGC463 (rechts) in hervorragender Übereinstimmung mit einer direkten Bildaufnahme, die zu Vergleichszwecken dem Palomar Bildatlas (POSS) entnommen wurde.

Abb.1:

Die PPAK-Einheit beim Testaufbau im Astrophysikalischen Institut Potsdam im Größenvergleich zu einer Münze. In dem Sechseck sind 382 Fasern auf engstem Raum angeordnet.

Abb.2:

Während eine Bildaufnahme nur das Aussehen einer Spiralgalaxie erfasst (Bild links), erhält man durch Beobachten mit der PPAK-Einheit gleichzeitig über 300 Spektren von der Galaxie. Dies erlaubt nicht nur die Rekonstruktion von Bildern in verschiedenen Wellenlängen oder Farben (Bild rechts), sondern auch die Bestimmung der vorhandenen Elemente und Geschwindigkeiten. Damit sind Rückschlüsse auf die Existenz und die Verteilung von nicht-sichtbarer (Dunkler) Materie in Galaxien möglich.