

Die Entwicklung des Alls zwischen Entropie und Emergenz

Auf diese Weise wird die Materie im Universum in einem langfristigen, kosmischen Kreislauf immer wieder neu verwendet – von der Sternentstehung über das Sternenleben bis hin zu ihrem Tod und den daraus hervorgehenden Prozessen.¹

Galaxien können miteinander wechselwirken, was zur Umverteilung von Materie zwischen ihnen führt. Bei solchen Interaktionen – insbesondere bei Kollisionen – werden Gas und Sterne durch gravitative Kräfte beeinflusst, wodurch es zur Verdichtung von interstellarem Gas und in der Folge zur Bildung neuer Sterne kommen kann. Solche Prozesse sind entscheidend für die weitere Entwicklung von Galaxien und beeinflussen auch den intergalaktischen Materiehaushalt.

Der kosmische Materiekreislauf, der unter anderem die Entstehung, Umwandlung und Rückführung von Materie im interstellaren Raum umfasst, ist Teil der übergeordneten kosmischen Evolution. Während dieser Kreislauf auf den Skalen einzelner Galaxien weitgehend lokal verläuft, steht er im größeren Zusammenhang mit der expansiven Entwicklung des Universums. Die großräumige Expansion beeinflusst vor allem die Verteilung von Materie auf kosmologischen Skalen, etwa zwischen Galaxienhaufen, hat jedoch nur indirekte Auswirkungen auf lokale Prozesse wie Sternentstehung oder Supernovae innerhalb von Galaxien.

Materiekreislauf und Expansion sind somit zwei unterschiedliche, aber zusammenhängende Aspekte der Entwicklung des Universums. Ihre Verbindung lässt sich besonders gut durch numerische Simulationen nachvollziehen, die auf leistungsstarken Supercomputern durchgeführt werden. Solche Simulationen ermöglichen es, die Entstehung und Entwicklung von Galaxien sowie ihre Wechselwirkungen über Milliarden Jahre hinweg nachzuvollziehen.² Durch die Kombination aus Beobachtungsdaten und numerischen Simulationen gelingt es Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die Entstehung von Galaxien aus den winzigen Dichteschwankungen des frühen Universums zu rekonstruieren. Gleichzeitig lassen sich Rückschlüsse auf die Rolle der

¹ Vgl. dazu: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch; aufgerufen am 05.04.2024.

² Gaßner, Josef M.: Simulationen von Galaxien und Clustern. Kosmische Zeitmaschinen, vAzS (94) Von Aristoteles zur Stringtheorie (94): Josef M. Gaßner stellt die erfolgreichsten dieser kosmischen Zeitmaschinen vor, von der Millenniums- und Bolshoi- bis hin zu den TNG-Simulationen und erläutert ihre Ergebnisse. Siehe: Urknall, Weltall und das Leben (www.urknall-weltall-leben.de) Wissenschaftler erklären Wissenschaft.- <https://www.youtube.com/watch?v=ziCWDEjCPIY>; aufgerufen am 29.01.2024

Dunklen Materie bei der Strukturierung und Entwicklung galaktischer Systeme ziehen.

Solche Simulationen ermöglichen nicht nur die Nachvollziehbarkeit komplexer Prozesse, sondern auch deren nachträgliche Überprüfung: Objekte, die sich über Milliarden Jahre hinweg entwickelt haben, können mithilfe empirischer Daten kalibriert und ihre Eigenschaften in ihrer jeweiligen Entstehungszeit verortet werden. Sterne dienen dabei als Zeugen vergangener kosmischer Epochen – vergleichbar mit Fossilien oder archäologischen Artefakten – und bilden durch ihre unterschiedlichen Altersstufen eine Art chronologisches Archiv.

Insbesondere die Analyse verschieden alter Sternpopulationen erlaubt Rückschlüsse auf die Entwicklungsgeschichte von Galaxien. Dabei stehen unter anderem Position, Entfernung und Helligkeit der Sterne im Fokus der astronomischen Vermessung. Durch Spektralanalyse lässt sich auch ihre Bewegung im Raum bestimmen – etwa, ob sie sich von der Erde entfernen oder auf sie zubewegen. Darüber hinaus liefert das Spektrum Hinweise auf chemische Zusammensetzung, Temperatur und Dichte der Sterne, wodurch sich Rückschlüsse auf ihr Alter und ihre Entwicklungsstadien ziehen lassen. Besonders alte Sterne geben Aufschluss über frühe Phasen der Galaxienentstehung und können darüber hinaus Informationen über benachbarte galaktische Systeme liefern.

Die kontinuierliche Expansion des Universums – von Harald Lesch und Josef M. Gaßner treffend als „kosmische Zeitmaschine“ bezeichnet – lässt sich anhand charakteristischer physikalischer Parameter nachweisen, die helfen, die Dynamik intergalaktischer Materie präzise zu erfassen. Dazu zählen unter anderem: die Gasdichte, die Dichte der Dunklen Materie, die Verteilung der Sterne, die Stärke magnetischer Felder, die Temperatur des intergalaktischen Gases, dessen Metallizität (Anteil schwererer Elemente), die Geschwindigkeitsverteilung des Gases sowie die Häufigkeit des fünffach ionisierten Sauerstoffs (O VI).

Diese Merkmale ermöglichen ein tieferes Verständnis der großräumigen Strukturen im Universum und ihrer zeitlichen Entwicklung.³

Bei der Beobachtung entfernter Galaxien entdeckte Edwin Hubble Ende der 1920er Jahre ein grundlegendes Phänomen: Kosmische Objekte weisen eine Rotverschiebung auf, die umso stärker ausgeprägt ist, je weiter sie von der Erde entfernt sind. Die einzige plausible Erklärung hierfür war eine Expansion der Raumzeit – eine Erkenntnis, die die Grundlage für das moderne Verständnis eines sich ausdehnenden Universums bildet.

³ Von Aristoteles zur Stringtheorie: Numerische Simulationen auf Supercomputern erlauben es, das Werden und Vergehen von Galaxien und Galaxienhaufen zu rekonstruieren. Josef M. Gassner erläutert die Ergebnisse... <https://www.youtube.com/watch?v=ziCWDEjCPIY>; aufgerufen am 29.01.2024

Die sogenannte Hubble-Konstante beschreibt die aktuelle Expansionsrate des Universums und ist damit eine fundamentale Größe der Kosmologie. Streng genommen handelt es sich jedoch um den Hubble-Parameter, da dieser Wert im Laufe der kosmischen Zeit nicht konstant bleibt, sondern sich mit der Entwicklung des Universums verändert. Der Begriff „Konstante“ ist daher historisch bedingt und führt leicht zu Missverständnissen.