

Supernovae und intergalaktisches Gas

MATTHIAS BARTELMANN

Dieses Material ist eine Ergänzung zu dem Artikel „Gravitationslinsen erhellen das Dunkel“, Physik in unserer Zeit **2014**, 45(5), 220.

Entdeckung von Supernovae Typ Ia

Die Dichteprofile von Galaxienhaufen zu bestimmen, ist eines der wesentlichen Ziele des Clash-Projekts. Drei weitere Aufgaben kommen hinzu. Die langen, auf einzelne Galaxienhaufen konzentrierten Beobachtungszeiten bringen es mit sich, dass dieselben Felder am Himmel vielfach wiederholt beobachtet werden. Deswegen eignen sie sich dafür, nach Supernovae zu suchen, die für mehrere Wochen aufleuchten und dann wieder verschwinden. Die Belichtungszeiten sind so lang, dass damit Supernovae vom Typ Ia entdeckt werden können, deren Rotverschiebung bis zu $z = 2$ reicht. Das entspricht einer Rückblickzeit von etwa 10 Milliarden Jahren.

Solche Supernovae sind für die Kosmologie sehr wichtig, denn bei ihnen besteht ein empirisch gefundener und kalibrierter Zusammenhang zwischen ihrer absoluten Helligkeit im Maximum ihres Lichtausbruchs und der Dauer dieses Lichtausbruchs selbst. Wenn ihre *absolute Helligkeit*, also ihre Leuchtkraft, aufgrund dieses Zusammenhangs bekannt ist, ergibt sich aus dem Vergleich mit ihrer gemessenen, *scheinbaren Helligkeit* ihre Entfernung. Wenn man nun noch ein Spektrum der Supernova aufnimmt, kann man den Zusammenhang zwischen Entfernung und Rotverschiebung direkt vermessen. Beide Informationen ermöglichen es, die Ausdehnungsrate des Universums zu ermitteln. Auf diese Weise entdeckten Saul Perlmutter, Adam Riess und Brian Schmidt Ende des letzten Jahrtausends die beschleunigte kosmische Expansion, wofür sie 2011 den Physik-Nobelpreis erhielten (siehe Physik in unserer Zeit **2011**, 42 (6), 274).

Typ-Ia-Supernovae bei hohen Rotverschiebungen und damit bei großen Entfernungen zu finden, ist daher ein weiteres wesentliches Ziel von Clash. Hinzu kommt, dass mit denselben Messungen überprüft werden kann, ob sich über kosmologische Zeiträume hinweg die Rate ändert, mit der Supernova-Explosionen dieser Art auftreten, und wie sich gegebenenfalls auch die Form der Lichtkurven dieser Supernovae im Lauf der kosmischen Geschichte verändert.

Clash hat bislang 39 Supernovae entdeckt, von denen sich etwa die Hälfte als Supernovae vom Typ Ia herausgestellt haben [1]. Keine davon wurde jenseits einer Rotverschiebung von $z = 2$ gefunden. Die Supernova-Raten, die daraus abgeleitet werden können, haben gegenüber früheren Messungen bei geringerer Rotverschiebung keine Überraschungen ergeben. Sie

verbessern aber die Statistik und unterstützen die Hypothese, dass das Universum beschleunigt expandiert (Abbildung 1).

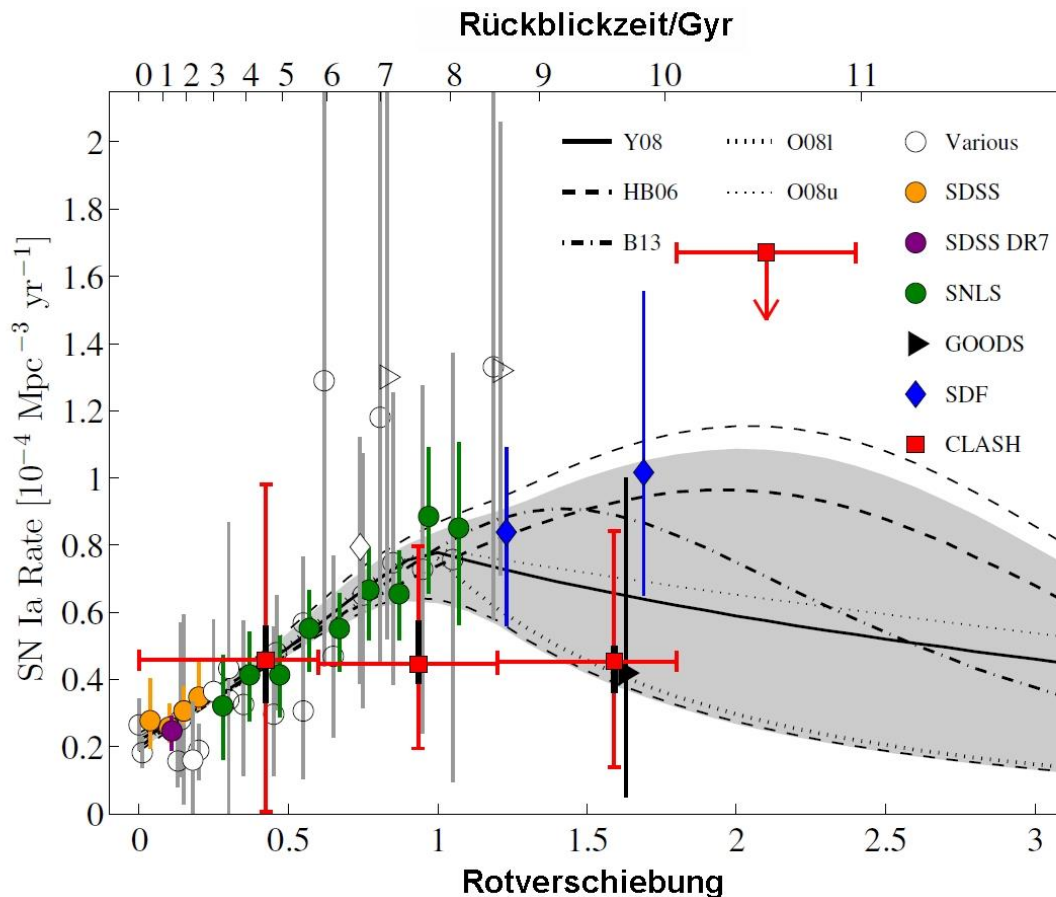


Abb. 1 Typ-Ia-Supernova-Raten bis zu $z = 2,4$ (aus [1]).

Heißes intergalaktisches Gas und der Sunjajew-Seldowitsch-Effekt

Aus den Beobachtungsdaten lassen sich noch weitere wertvolle Information gewinnen. So enthalten Galaxienhaufen ein heißes intergalaktisches Plasma, das wegen seiner hohen Temperatur weiche Röntgenstrahlung mit Photonenenergien von 1 bis 10 keV abgibt. Aus der Verteilung dieses Plasmas und seiner Temperatur sind wiederum Rückschlüsse auf die Massenverteilung in einem Galaxienhaufen möglich. Voraussetzung ist, dass sich das Plasma im hydrostatischen Gleichgewicht mit dem Gravitationspotential des Haufens und im thermischen Gleichgewicht befindet. Damit kann die Massenverteilung überprüft und verfeinert werden, die bisher allein aus dem Gravitationslinsen-Effekt rekonstruiert wurden. Umgekehrt kann die Kombination von Messungen des Gravitationslinsen-Effekts mit der Röntgenemission auch dazu verwendet werden, den physikalischen Zustand des Plasmas zu überprüfen.

Einen ähnlichen Zugang eröffnet der sogenannte Sunjajew-Seldowitsch-Effekt der Galaxienhaufen. Er kommt dadurch zustande, dass Photonen des kosmischen

Mikrowellenhintergrunds gelegentlich an den sehr viel energiereicheren Elektronen des intergalaktischen Plasmas von niedrigen zu höheren Energien hin gestreut werden.

Beobachtet man den kosmischen Mikrowellenhintergrund durch einen Galaxienhaufen hindurch, so wirft er bei niedrigen Photonenenergien einen Schatten auf den Hintergrund, weil an seinem Ort Photonen aus dem Spektrum des Mikrowellenhintergrunds zu fehlen scheinen. Diese Photonen verschwinden aber nicht, weil sie zwar gestreut, aber nicht absorbiert werden. Sie tauchen bei höheren Energien wieder auf, bei denen dann derselbe Galaxienhaufen folgerichtig als Quelle erscheint.

Dieses ganz ungewöhnliche Erscheinungsbild, das Galaxienhaufen bei Wellenlängen um einen Millimeter herum bieten, lässt sich mit Teleskopen wie dem South Pole Telescope, dem Atacama Cosmology Telescope oder dem Interferometer Alma in Chile beobachten. Da es letztlich ebenfalls auf das heiße Haufenplasma zurückzuführen ist, bietet der Sunjajew-Seldowitsch-Effekt eine weitere Möglichkeit, entweder die Massenverteilung in Galaxienhaufen oder den Zustand des heißen Haufenplasmas zu analysieren.

Ebenfalls sehr wertvoll ist schließlich noch die Spektroskopie der Haufengalaxien. Sie gibt zunächst Aufschluss darüber, mit welchen Geschwindigkeiten sich die Galaxien in ihren Haufen bewegen. Ihre Bewegung wird durch die Schwerkraft angetrieben, die durch die Massenverteilung in den Galaxienhaufen hervorgerufen wird. Das eröffnet einen weiteren Zugang, um die Massenverteilung in den Galaxienhaufen noch genauer zu kartieren.

Literatur

[1] O. Graur et al. arxiv.org/abs/1310.3495, 2104 im Druck.