

Summary

Galaxies in the redshift range between $1 < z < 3$ are very different from their local counterparts. Their main property is that they are characterized by irregular morphologies called clumps. These can have kpc-size and mass up to $10^{10} M_{\odot}$. Clumps probably form in-situ, due to gravitational instability in the spiral arms, because the majority of these galaxies are not undergoing mergers or other galaxy interactions (even if there can be also ex-situ clumps with different origin). Being so massive, clumps may have a relevant role in the evolution of the galaxies, for example they can be responsible of the bulge formation. However, cosmological simulations already successful in reproducing realistic disc galaxies, have not reproduced these observed objects. This can be due to lack of resolution or to wrong sub-grid physics recipes, such as a too strong feedback, that can destroy clumps. Zoom-in and isolated simulations, indeed, having higher resolution, have been able to generate clumps with the same properties inferred by observations.

Observations at high redshift, nevertheless, are limited. At the moment, indeed, the best resolution is reached by the Hubble Space Telescope, which, for example, with imaging of 0.15 arcsec can achieve a resolution of 1 - 1.5 kpc at $z = 1 - 2$, while ground-based telescopes, even with adaptive optics, have a worse resolution of ~ 2.1 kpc at $z = 1.5$. Being the resolution so close to the typical observed clump sizes, there is a high possibility that sizes are overestimated. To further complicate this scenario, there are recent observations that, thanks to gravitational lensing, can reach higher resolution (up to 100 pc) and have found clumps smaller than those previously observed, which can be simply considered as oversized Giant Molecular Clouds. Therefore understanding the properties of these objects is very important not only to explain observations, but also to constrain cosmological simulations and study the evolution of galaxies from redshift 3 to the present. In this thesis I use isolated disc simulations, which are less realistic than cosmological simulations, but allow to reach higher resolution and to explore systematically the dependence of fragmentation on structural parameters (such as galaxy mass and gas fraction) and on sub-grid physics. I will show that clumps are effectively smaller than previously observed and predicted, in agreement with the

recent observations from gravitational lensing. Moreover in this work we have been able to reproduce the giant clumps initially observed too, simply degrading the simulated resolution in order to match that of the corresponding observations and using different threshold of sensitivity.

Zusammenfassung

Galaxien bei Rotverschiebung $1 < z < 3$ sind sehr verschieden im Vergleich zu deren lokalen Gegenstücke. Ihre wichtigsten Eigenschaften können durch ihre irreguläres Aussehen, den sogenannten Klumpen, charakterisiert werden. Diese können kpc groß sein und bis zu $10^{10} M_{\odot}$ erreichen. Klumpen bilden sich wahrscheinlich innerhalb der Galaxie durch Gravitations-Instabilitäten in den Spiralarmen, weil die Mehrheit der Galaxien kein Merging oder andere Galaxien Wechselwirkungen durchlaufen (auch wenn es Klumpen mit anderem Ursprung von Außerhalb geben kann). Da die Klumpen sehr massiv sind, können sie eine relevante Rolle in der Evolution von Galaxien spielen, z.B. können sie für die Bildung eines Bulges verantwortlich sein. Jedoch haben kosmologische Simulation, die schon erfolgreich sind in der Reproduktion von realistischen Scheiben-Galaxien, diese beobachteten Objekte nicht reproduziert. Gründe dafür können eine zu niedrige Auflösung sein oder falsch eingesetzte sub-grid Physik, wie z.B. zu starkes Feedback, welches Klumpen zerstören kann. Zoom-in Simulationen mit kosmologischem Kontext oder isolierte Galaxien haben in der Tat mit ihrer höheren Auflösung die Möglichkeit Klumpen zu bilden, mit den gleichen Eigenschaften, die aus den Beobachtungen abgeleitet werden.

Dennoch haben Beobachtungen bei hoher Rotverschiebung ihre Grenzen. Zur Zeit wird die beste Auflösung mit dem Hubble Space Telescope erreicht, das z.B. bei einem Bild von 0.15 Bogensekunden eine Auflösung von 1-1.5 kpc bei $z = 1 - 2$ hat. Teleskope die auf der Erde ihren Sitz haben erreichen sogar mit adaptiver Optik eine viel schlechtere Auflösung von ~ 2.1 kpc bei $z = 1.5$. Da sich die Auflösung so nahe an der Größe der beobachteten Klumpen befindet, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass die tatsächliche Größe überschätzt wird. Das Bild wird noch komplizierter durch neueste Beobachtungen, die den Gravitationslinseneffekt nutzen und eine höhere Auflösung (bis zu 100 pc) erreichen. Sie finden viel kleinere Klumpen als vorige Beobachtungen, welche man einfach als übergroße gigantische Molekülwolken ansehen kann. Deshalb ist es sehr wichtig die Eigenschaften dieser Objekte zu verstehen, nicht nur, um Beobachtungen zu erklären, aber auch, um kosmologische Simulationen darauf abzustimmen die Evolution von Rotverschiebung 3 bis heute richtig

zu studieren.

In dieser Doktorarbeit nütze ich isolierte Simulationen von Scheiben Galaxien, welche weniger realistisch sind als kosmologische Simulationen, aber es erlauben eine höhere Auflösung zu erreichen und um systematisch die Abhängigkeit der Fragmentation von strukturellen Parametern (wie die Galaxienmasse und Gasanteile) und von der sub-grid Physik zu studieren. Ich zeige, dass Klumpen tatsächlich kleiner sind als die bisherigen Beobachtungen und Vorhersagen zeigen, was im Einklang steht mit jüngsten Gravitationslinsen-Beobachtungen. Außerdem konnte ich in dieser Arbeit die beobachteten riesigen Klumpen reproduzieren, indem ich die Auflösung der imitierten Simulation-Beobachtung erniedrige und verschiedene Grenzwerte der Empfindlichkeit variiere, um mit den entsprechenden Beobachtungen übereinzustimmen.