



Doctoral Thesis

Galaxy groups with zCOSMOS

Author(s):

Knobel, Christian

Publication Date:

2011

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006532379> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss ETH No. 19637

Galaxy groups with zCOSMOS

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Christian Knobel

Dipl. Phys. ETH

born May 24, 1980
citizen of Zurich (ZH)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Simon J. Lilly, examiner
Prof. Dr. Gianni Zamorani, co-examiner

2011

Abstract

Galaxy groups are important for at least two main reasons. Being the most massive virialized structures in the universe they constitute excellent cosmological probes for testing cosmological models and determining cosmological parameters. On the other hand, being bound structures containing several galaxies they serve as large cosmic laboratories in which processes occur which have the potential to affect the global evolution of galaxies. Unfortunately, detecting galaxy groups is relatively difficult and still observationally expensive, particularly at high redshift. This thesis aims at providing a significant contribution to the systematic detection and investigation of galaxy groups over a large range of redshift.

The data used for this thesis mainly stem from the bright part of zCOSMOS which is a large spectroscopic galaxy survey. Covering a contiguous area of $\sim 1.7 \text{ deg}^2$ zCOSMOS-bright observed about 20,000 spectra in the redshift range $0.1 \lesssim z \lesssim 1.2$. The first $\sim 10,000$ spectra were released in the “10k sample” and final data set later in the “20k sample”. With a redshift accuracy of about 100 km/s this survey suits very well for detecting the galaxy groups in redshift space.

Since, in contrast to single galaxies and huge clusters, groups are low contrast systems against the background, identifying groups is subtle. Using sophisticated simulated mock galaxy samples, I study the performance of the standard group detection algorithms Friends-of-Friends (FOF) and the Voronoi-Delaunay Method (VDM). I find that none of the two algorithms is far superior over the other, but the FOF method yields slightly better group catalog statistics. However it results in too many detected small groups. This is why I generalize the FOF and VDM algorithms to a multi-run scheme. That is I progressively optimize the group-finding parameters

for smaller and smaller groups as the catalog is generated from the richest groups down to the poorest. This improves the fidelity of the resulting catalogs, in terms of completeness and purity, over a broad range of richnesses N so that the final catalog, both in terms of the groups and of individual members, compares favorably with recent results in the literature. Moreover, the combination of the resulting FOF and VDM multi-run catalogs allows the definition of several sub-catalogs with further improved purity.

The zCOSMOS group catalog for the 10k sample contains about 800 groups and the catalog for the 20k sample about 1500 making it the largest existing group sample for the redshift range $0.1 \lesssim z \lesssim 1$. I then investigate the estimation of group properties such as velocity dispersion and dynamical mass. Unfortunately, particularly for small groups estimating these properties is very difficult so that I introduce so called “fudge quantities” by taking the group richness as a proxy for these quantities and calibrate them using the mocks. Comparing the number of zCOSMOS groups with the mocks yields fair agreement except for very small and very large groups: There are too many small groups and too few large groups compared with the mocks. Also the fraction of galaxies in groups is much smaller in the mocks for $z \gtrsim 0.6$. By taking the 2df galaxy redshift survey as local benchmark, my group catalog demonstrates the buildup of the cosmic group structure over the last seven billion years.

Since the zCOSMOS sampling rate, even for the 20k sample, is far from 100% our group population is incomplete. This is why I develop a method for incorporating galaxies into the groups for which only photometric information is available. Again using the mocks I define a probability p for each photometric galaxy to be associated to a certain group. This completes our group population in a probabilistic manner and thus opens the door for new investigations. As two direct applications, I define for each galaxy a probability p_M to be the most massive in a certain group, and I demonstrate how the use of photometric information can improve the estimation of group centers.

One of the main science goals of the zCOSMOS collaboration is the investigation of galaxy evolution in different cosmic environments. These studies were not led by myself, but in close collaboration with me and are heavily based on my group catalog. We find strong evidence for a global, stellar mass driven evolution of galaxies in all environments and increasing “crossing masses” for increasing redshift (“downsizing”). On top of these global trends there is clear evidence that at fixed time and fixed stellar mass, the fractions of red and early type galaxies are systematically higher

in groups than outside groups. We conclude that the transformation rates of late type, blue and star forming galaxies are systematically higher in groups than outside of groups. The differences are larger for lower stellar masses. Within groups the transformation rates involving star formation are generally higher than those involving morphological changes.

Finally, I perform a correlation function analysis with my 20k group sample to explore the relation between clustering and estimated group mass. At high redshift the galaxy auto-correlation function as well as the group-galaxy cross-correlation functions are very high because of a large structure at $z \sim 0.7$ in the COSMOS field. However, there are also single mocks exhibiting similar correlation strengths so that the high values for the zCOSMOS sample can be understood in terms of cosmic variance. In total, the measured masses from the correlation function analysis are consistent within the error bars with the mock calibrated fudge masses. The positive result of this consistency test is another indication of the high quality of the group catalog.

The production and exploration of the zCOSMOS groups presented in this thesis is only the beginning of the understanding of groups at high redshift. There are many further very interesting projects feasible based on my zCOSMOS groups and the corresponding analysis. Examples are the investigations of the X-ray properties of the groups or of the differences between central and satellite galaxies.

Zusammenfassung

Es gibt zwei Hauptgründe, warum Galaxiengruppen wichtig sind. Da sie die massivsten virialisierten Strukturen im Universum sind, stellen sie einerseits ausgezeichnete kosmologische Untersuchungsobjekte dar, mit denen man kosmologische Theorien testen und kosmologische Parameter festlegen kann. Auf der anderen Seite sind Galaxiengruppen gravitativ gebundene Strukturen, die mehrere Galaxien enthalten, und damit die globale Evolution von Galaxien beeinflussen können. Leider ist es nach wie vor schwierig und aufwändig, Galaxiengruppen zu entdecken, besonders bei hoher Rotverschiebung. Diese Doktorarbeit hat zum Ziel, einen signifikanten Beitrag zur systematischen Entdeckung und Untersuchung von Galaxiengruppen über einen grossen Rotverschiebungsbereich beizutragen.

Die Daten, die in dieser Doktorarbeit verwendet wurden, stammen hauptsächlich von zCOSMOS. zCOSMOS ist eine grosse spektroskopische Galaxien Survey, die auf einem zusammenhängenden Gebiet von $\sim 1.7 \text{ deg}^2$ und über einen Rotverschiebungsbereich von $0.1 \lesssim z \lesssim 1.2$ etwa 20'000 Galaxienspektren beobachtet hat. Die ersten 10'000 Spektren wurden als sogenanntes "10k sample" und das endgültige Datenset als "20k sample" veröffentlicht. Mit einer Genauigkeit von 100 km/s eignet sich diese Survey vorzüglich, um Galaxiengruppen zu entdecken.

Da Gruppen im Gegensatz zu einzelnen Galaxien und riesigen Galaxienhaufen sich nur mit einem geringen Kontrast gegenüber ihrem Hintergrund auszeichnen, ist es schwierig, sie zu entdecken. Indem ich geeignete simulierte Galaxiensamples ("Mocks") zu Hilfe nehme, untersuche ich die Leistungsfähigkeit der Standarddetektionsalgorithmen. Das sind die Friends-of-Friends (FOF) und der Voronoi-Delaunay Methode (VDM). Während keiner der beiden Methoden der anderen deutlich überlegen ist, zeichnet sich

doch die FOF Methode durch leicht bessere Statistik aus. Allerdings produziert sie zu viele kleine Gruppen. Aus diesem Grund habe ich die FOF und VDM Algorithmen zu einem Multi-run Schema verallgemeinert, bei welchem die Algorithmenparameter progressiv für kleinere Gruppen optimiert werden und den Katalog von grossen zu kleinen Gruppen bevölkert. Dieses Verfahren verbessert die Vollständigkeit und Reinheit des Katalogs über einen grossen Bereich der Gruppengrössen, so dass der schlussendliche Gruppenkatalog im Vergleich mit der neueren Literatur sehr gute Statistiken aufweist; sowohl auf einer individuellen Gruppenbasis als auch für einzelne Gruppenmitglieder. Durch Kombination der multi-run FOF und VDM Kataloge lassen sich schliesslich auch einige Subkataloge mit noch höherer Reinheit definieren.

Der zCOSMOS 10k Gruppenkatalog enthält 800 Gruppen und der 20k Katalog ungefähr 1500. Damit ist er der umfangreichste existierende Gruppenkatalog für den Rotverschiebungsbereich $0.1 \lesssim z \lesssim 1$. Für diese Gruppen untersuche ich, wie gut man einzelne Eigenschaften wie dynamische Masse oder Geschwindigkeitsverteilung messen kann. Leider ist es besonders für kleine Gruppen sehr schwierig, zuverlässige Werte zu erhalten. Daher führe ich die sogenannten “fudge Grössen” ein. Das sind Abschätzungen von Galaxieneigenschaften, die anhand der Anzahl Gruppenmitglieder bestimmt werden, indem man diese mithilfe der Mocks kalibriert. Der Vergleich der zCOSMOS Gruppenkataloge mit den Mocks zeigt im Grossen und Ganzen gute bereinstimmung. Alleine die Anzahl gefundener sehr kleinen und sehr grossen Gruppen stimmen nicht überein; die zCOSMOS Kataloge enthalten deutlich mehr kleine und deutlich weniger grosse Gruppen. Ansonsten ist der Bruchteil der Gruppengalaxien im Rotverschiebungsbereich $z \gtrsim 0.6$ deutlich kleiner in den Mocks. Nimmt man schliesslich die 2dF Galaxien Rotverschiebungssurvey als kosmologisch lokale Bezugsgrösse, so demonstrieren meine Gruppenkataloge das Wachstum der kosmologischen Gruppenstrukturen über den Zeitraum der vergangenen sieben Milliarden Jahren.

Da selbst für das 20k Sample die Beobachtungsrate der Galaxien keine 100% erreicht ist die Galaxienpopulation in meinen Gruppen unvollständig. Daher entwickle ich eine Methode, mit welcher ich den Gruppen photometrische Galaxien zuordnen kann. Indem ich wiederum von den Mocks Gebrauch mache, definiere ich für jede Galaxie eine Wahrscheinlichkeit p , dass sie Mitglied einer bestimmten Gruppe ist. Auf diese Weise kann ich die Galaxienpopulation in Gruppen vervollständigen und so die Türen für neue Untersuchungen öffnen. Als zwei direkte Anwendungen dieses Konzeptes definiere ich einerseits für jede Galaxie die Wahrscheinlichkeit p_M , dass sie

die massivste Galaxie einer bestimmten Gruppe ist, und andererseits zeige ich, wie der Gebrauch der photometrischen Galaxien die Abschätzung von Gruppenzentren verbessern kann.

Eines der Hauptziele der zCOSMOS Kollaboration stellt die Untersuchung der Galaxienevolution in verschiedenen kosmischen Umgebungen dar. Diese Studien wurden nicht von mir selber geleitet, sondern entstanden in enger Mitarbeit und basieren weitgehend auf meinem Gruppenkatalog. Wir finden starke Evidenz für eine globale von der stellaren Masse angetriebenen Evolution von Galaxien in allen Umgebungen und zunehmende “Crossing Massen” für zunehmende Rotverschiebung (“downsizing”). Auf der Oberfläche dieser globalen Trends finden wir Hinweise, dass zu einer festgelegten Zeit und für eine festgelegten stellare Masse der Bruchteil an Spiralgalaxien, blauen und sternbildenden Galaxien in Gruppen systematisch höher ist als ausserhalb. Diese Unterschiede sind zudem grösser für kleinere stellare Massen. Desweitem finden wir, dass innerhalb von Gruppen die Transformationsraten, welche Sternbildung beinhalten, im Allgemeinen höher sind als solche, die die Morphologie betreffen.

Schliesslich führe ich eine Korrelationsfunktionsanalyse mit meinem 20k Gruppenkatalog durch, in welcher ich den Zusammenhang zwischen geschätzter Gruppenmasse und der Häufung der Gruppen im Raum untersuche. Bei hoher Rotverschiebung ist die Galaxien Auto-Korrelationsfunktion wie auch die Gruppen-Galaxien Korrelationsfunktion relativ hoch aufgrund einer gewaltigen Struktur, die sich im COSMOS Feld bei $z \sim 0.7$ befindet. Allerdings gibt es auch unter den 24 Mock Katalogen einzelne, die ähnliche Korrelationsstärken aufweisen. Damit kann man die hohen Werte von zCOSMOS im Rahmen der statistischen kosmischen Variation verstehen. Insgesamt finden wir, dass die Massen der Gruppen, die mithilfe der Korrelationsanalyse berechnet wurden mit den “fudge Massen” innerhalb der Fehlerbalken verträglich sind. Das positive Resultat dieses Konsistenztests ist ein weiterer Hinweis auf die hohe Qualität des Gruppenkatalogs.

Die Produktion und Untersuchung der zCOSMOS Gruppen, die in dieser Doktorarbeit vorgestellt werden, bilden nur den Anfang unseres Verständnisses von Galaxiengruppen bei hoher Rotverschiebung. Es gibt zahlreiche weitere sehr interessante Projekte, die mit den gefundenen Galaxiengruppen und den hier erarbeiteten Methoden durchgeführt werden können wie zum Beispiel die Untersuchung der Rntgeneigenschaften der Gruppen oder die Untersuchung der Unterschiede zwischen den Zentral- und Satellitengalaxien.