

DISS. ETH NO. 23603

Lyman α emission as a tracer of extended gas
in the high redshift Universe

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by
ELENA BORISOVA
Diploma in Astronomy,
Saint-Petersburg University

born on 19.03.1988
citizen of
Russia

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Simon J. Lilly, examiner
Prof. Dr. Sebastiano Cantalupo, co-examiner
Prof. Dr. Lutz Wisotzki, co-examiner

2016

Abstract

A long standing goal of observational cosmology is to directly image the filamentary structure of the cosmic web. This is responsible for feeding galaxies with large amount of gas through putative cold streams that may penetrate all the way down to the centers of galaxies. During several decades the gas in the intergalactic medium has been studied through the hydrogen Lyman α absorption in the spectra of distant quasars. Unfortunately, this approach does not provide information on the spatial distribution of gas clouds along the line of sight.

This thesis presents one of the first results of studying extended gas in the high redshift Universe through Lyman α emission, using a new generation integral field spectrograph called Multi Unit Spectroscopic Explorer (MUSE). MUSE operates in the visible wavelength range and combines together a wide field of view with high spatial and spectral resolution.

Two projects are described, which were undertaken as part of the ETH MUSE Guaranteed Time Observations. First, a snapshot survey of luminous quasars was conducted. This reveals the presence of ubiquitous giant Lyman α nebulae around all 17 radio-quiet quasars in the sample. Morphology, kinematic properties and metallicities of these nebulae are consistent with the inflow of gas from the intergalactic medium. Second, deeper observations of extended Lyman α emitting candidates, found in narrow-band imaging of quasar fields, were undertaken. All candidates are confirmed to be high redshift objects. Some of them show very high equivalent width Lyman α emission suggesting their intergalactic origin.

In a different direction, the possibilities for using boosted fluorescent Lyman α emission to constrain quasar lifetimes and opening angles of bi-conical radiation are explored. A simple geometrical model is developed to predict the distribution of emitters in the projection on the plane of the sky. Example of model application on the sample of Lyman α emitters around $z = 3.1$ quasar Q 0420–388 with equivalent widths above 100 Å is presented and gives lifetime estimates in the range $20 < \tau < 50$ Myr for opening angles $90 < \alpha < 40$ degrees respectively. Uncertainties on the equivalent width threshold for fluorescence are discussed.

Kurzfassung

Ein langjähriges Ziel der experimentellen Kosmologie ist die Abbildung der charakteristischen Filamente des Cosmic Web. Durch diese Filamente werden Galaxien mit frischem Gas versorgt, welches durch mutmassliche Cold Streams bis in die Galaxienzentren transportiert werden kann. Während vieler Jahrzehnte wurde das Gas im intergalaktischen Medium durch Lyman- α Absorption von Wasserstoff in Spektren weit entfernter Quasare erforscht. Leider liefert diese Methode jedoch keine Informationen über die räumliche Verteilung der Gaswolken entlang der Sichtlinie.

Diese Arbeit präsentiert einige der ersten Resultate der Untersuchung ausgedehnter Gasfelder im Universum hoher Rotverschiebung durch Lyman- α Emission. Dazu wird der neuartige Integral Field Spectrograph mit Namen Multi Unit Spectroscopic Explorer (MUSE) benutzt. MUSE arbeitet im sichtbaren Wellenlängenbereich und vereinigt ein grosses Sichtfeld mit hoher räumlicher sowie spektraler Auflösung.

Im Weiteren werden zwei verschiedene Projekte diskutiert, welche beide im Rahmen der ETH MUSE Guaranteed Time Observations (GTO) durchgeführt wurden. Im Ersten wurde eine Snapshot Survey von 17 leuchtenden Quasaren durchgeführt. Diese Beobachtungen haben eine ausgedehnte Lyman- α Emission um alle untersuchten radio-quiet Quasare enthüllt. Die Morphologien sowie die kinematischen und chemischen Eigenschaften dieser Wolken bestätigen die Hypothese von Gaseinfluss aus dem intergalaktischen Medium. Im Zweiten wurden tiefe Beobachtungen von möglichen Lyman- α Emittoren durchgeführt, welche in einer schmalbandigen Imaging Survey von Quasarfeldern entdeckt wurden. Alle Kandidaten erwiesen sich als Objekte hoher Rotverschiebung. Einige weisen Lyman- α Emission hoher äquivalenter Breite auf, was darauf hindeutet, dass diese tatsächlich aus dem intergalaktischen Medium stammen.

In einem weiteren Projekt wird die Möglichkeit untersucht, sowohl die Lebensdauer von Quasaren als auch Öffnungswinkel der biconic radiation anhand erhöhter fluoreszierender Lyman- α Emission zu bestimmen. Hierzu wurde ein einfaches geometrisches Modell entwickelt, welches die Bestimmung der Verteilung von Lyman- α Emittoren auf der Projektion der Himmelsebene erlaubt. Dieses Modell wurde auf verschiedene Lyman- α Emitter um den $z = 3.1$ Quasar Q 0420–388 mit äquivalenter Breite, die 100 \AA überschreiten, angewendet. Diese Analyse liefert Quasarlebensdauern zwischen $20 < \tau < 50 \text{ Myr}$ für Öffnungswinkel zwischen $90 < \alpha < 40 \text{ Grad}$. Weiter wird die Unisicherheit bezüglich des Schwellwerts der äquivalent Breite für Fluoreszenz diskutiert.