



Doctoral Thesis

Cosmological observations and their information gains

Author(s):

Seehars, Sebastian

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010742533> →

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. 23635

COSMOLOGICAL OBSERVATIONS AND THEIR INFORMATION GAINS

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

SEBASTIAN SEEHARS

MSc in Theoretical and Mathematical Physics

Ludwig Maximilian University of Munich

born on 11.07.1986

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Alexandre Refregier

Dr. Adam Amara

Prof. Dr. Jochen Weller

2016

Abstract

The standard model of cosmology describes the current epoch of our universe as dominated by dark matter and dark energy, two phenomenological components with unknown microscopic origin. Improving our understanding of those components is one of the main motivations of observational cosmology.

One promising way to make progress is to combine and compare the constraints from observations of individual cosmological probes. To this end, we develop a mathematical framework for quantifying the concordance between different experiments. It is based on the information gain as measured by the relative entropy, or Kullback-Leibler divergence, between two multivariate posterior distributions. We first apply our method to a historical sequence of Cosmic Microwave Background (CMB) experiments, focussing on the comparison between constraints from the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe and Planck satellite missions. Additionally, we study the concordance between CMB data and other cosmological probes such as distance ladder, supernova type Ia, baryon acoustic oscillations, and weak lensing observations. While, according to our measure, not all data are concordant, the disagreements can be mostly traced back to systematics in the data rather than deviations from the standard model.

A complementary approach to improving our understanding of cosmology is to develop new observational techniques that reveal additional cosmological probes. A particularly promising future probe is the technique of neutral hydrogen intensity mapping. While this technique is able to map larger volumes than any other cosmological probe, extracting cosmological information from these observations is challenging and requires precise models for both the cosmological component and its foregrounds. We thus first propose a method to simulate maps of the large-scale structure of neutral hydrogen that uses a phenomenological prescription for assigning neutral hydrogen to N-body simulations of the dark matter density. These maps are sufficiently realistic to study the impact of non-linear effects on the clustering of neutral hydrogen. We conclude the thesis with a progress report on ongoing observational efforts in the Bleien Galactic Survey, which is designed to test strategies for single-dish drift scan surveys and will produce maps of the galactic foregrounds to intensity mapping.

Zusammenfassung

Laut dem Standardmodell der Kosmologie wird unser Universum von dunkler Materie und dunkler Energie beherrscht. Da die mikroskopischen Ursachen dieser dunklen Komponenten jedoch unbekannt sind, ist die Verbesserung unseres Verständnisses des dunklen Sektors eines der wichtigsten Ziele der beobachtenden Kosmologie.

Beobachtungen unterschiedlicher kosmologischer Observablen zu kombinieren und zu vergleichen, ist ein vielversprechender Ansatz diesem Ziel näher zu kommen. So entwickeln wir ein mathematisches System um die Übereinstimmung verschiedener Experimente zu quantifizieren. Das System basiert auf der Messung des Informationsgewinns zwischen zwei a-posteriori Wahrscheinlichkeitsverteilungen durch die “relative Entropie” oder “Kullback-Leibler Divergenz”. Wir wenden unsere Methode auf eine historische Abfolge von Beobachtungen der kosmischen Hintergrundstrahlung (CMB) an und konzentrieren uns dann auf die Ergebnisse der Planck und WMAP Forschungssatelliten. Zusätzlich analysieren wir die Übereinstimmung zwischen Beobachtungen des CMB und anderer kosmologischer Observablen wie der kosmischen Entfernungsleiter, Supernovae vom Typ Ia, Baryonische akustische Oszillationen und dem schwacher Gravitationslinseneffekt. Obwohl nach unserer Methode nicht alle Daten übereinstimmende Resultate liefern, können die meisten Unstimmigkeiten nicht auf Abweichungen vom Standardmodell, sondern auf systematische Fehler in den Daten zurückgeführt werden.

Ein komplementärer Ansatz zur Vertiefung unseres Kosmologieverständnisses ist das Erschliessen zusätzlicher kosmologischer Observablen durch die Entwicklung neuer Beobachtungstechniken. Die Vermessung der Intensität von neutralem Wasserstoff (HI) ist eine besonders vielversprechende neue Technik, da sie, verglichen mit anderen Observablen, die Vermessung wesentlich grösserer Volumen ermöglicht. Aus Beobachtungen von HI kosmologische Informationen abzuleiten, ist jedoch eine grosse Herausforderung und verlangt präzise Modelle der kosmologischen Komponente und der Vordergrundstrahlung. Daher präsentieren wir zunächst eine Methode zur Simulation von Karten der kosmischen Struktur von HI, die auf einer phänomenologisch motivierten Verknüpfung von HI und der Materieverteilung einer Mehrkörpersimulation basiert. Die Genauigkeit der Simulation ermöglicht es, den Einfluss der nicht-linearen Strukturbildung auf die Anordnung von HI zu untersuchen. Die Arbeit wird von einem Fortschrittsbericht zur “Bleien Galactic Survey” abgeschlossen, mit deren Beobachtungen wir instrumentelle Ansätze zur Intensitätsvermessung analysieren, um schliesslich die Vordergrundstrahlung des kosmologischen Signals zu bestimmen.