

Abstract

This document is a cumulative thesis largely based on my doctoral work between September 2019 and the spring of 2023. It is structured into two main sections, consisting of an introductory part (Chapter 1) and several parts adapted from published scientific articles (Chapters 2, 3 and 4).

Chapter 1 is intended to be read both as a stand-alone text and as a general introduction to the scientific articles showcased in later Chapters. It consists in a historical and conceptual overview of the various topics that motivated and enabled my scientific production over the last several years, flavoured by my own understanding and interest in the matter at hand. Crucially, it is *not* meant to be an exhaustive review of any particular subject. The style is therefore discursive, somewhere between a textbook and a general science outreach article, and is very sparsely referenced. A more rigorous approach is taken in later Chapters, which include detailed technical introductions and refer to relevant literature as customary in scientific articles. Section 1.1 summarises the history of General Relativity and its conceptual difficulties, while also setting up the idea and basic theory of the post-Newtonian expansion. Section 1.2 introduces the two main applications tackled in this thesis, i.e. the gravitational wave driven inspiral of massive black hole binaries and the collapse of hydrostatic structures via relativistic instabilities. Section 1.3 summarises the most important astrophysical sources of gravitational radiation for future spaceborne detectors and briefly touches on some data analysis techniques. Finally, Section 1.4 presents my scientific outlook for the next years.

The bulk of this thesis is adapted from six articles, which trace my major topics of interest throughout the course of my doctoral studies. The articles are listed in their respective “Relevant Publications” sections, together with other related parts of my academic production. Chapter 2 is centered around two articles concerned with post Newtonian modifications to the inspiral timescale for binaries in the gravitational wave driven regime. Chapter 3 collects two articles tackling the issue of environmental effects on gravitational waveforms. Finally, Chapter 4 is based on a pair of articles regarding the formation and the multimessenger emission of the most massive black holes in our Universe. Chapters 2, 3 and 4 are supplemented by short preambles, written in the same tone and style as Chapter 1. They partly serve as an informal introduction to the more detailed text adapted from publications. They also reflect my own thoughts on the general state of the field, highlighting some interesting divides of attention and expertise in the communities involved in gravitational wave astronomy.

Zusammenfassung

Dieses Dokument besteht aus einer kumulativen Dissertation, die größtenteils auf meiner Arbeit im Rahmen meines Doktorats zwischen September 2019 und Frühjahr 2023 basiert. Die Dissertation ist in zwei Hauptabschnitte gegliedert, bestehend aus einem einleitenden Teil (Kapitel 1) und mehreren Teilen, die aus veröffentlichten wissenschaftlichen Artikeln übernommen wurden (Kapitel 2, 3 und 4).

Kapitel 1 kann sowohl als eigenständiger Text als auch als allgemeine Einführung in die in späteren Kapiteln gelesen werden. Es handelt sich um einen historischen und konzeptionellen Überblick über die verschiedenen Themen, die meine wissenschaftliche Arbeit in den letzten Jahren motiviert und ermöglicht haben, interpretiert durch mein eigenes Verständnis und Interesse an der jeweiligen Materie. Die Einführung ist *nicht* als ausführlicher Überblick über ein bestimmtes Thema gedacht. Der Stil ist daher eher diskursiv, zwischen einem Lehrbuch und einem allgemeinen wissenschaftlichen Artikel. Späteren Kapiteln enthalten dafür ausführliche technische Einführungen und verweisen auf die relevante Literatur, wie es in wissenschaftlichen Artikeln üblich ist. Abschnitt 1.1 fasst die Geschichte der Allgemeinen Relativitätstheorie und ihre konzeptionellen Schwierigkeiten zusammen und stellt gleichzeitig die Idee und grundlegende Theorie der post-Newtonschen Reihe dar. Abschnitt 1.2 stellt die beiden Hauptanwendungen vor, die in dieser Arbeit behandelt werden, nämlich die durch Gravitationswellen angetriebene Spirale massiver Schwarzer Löcher und den Kollaps hydrostatischer Strukturen durch relativistische Instabilitäten. Abschnitt 1.3 fasst die wichtigsten astrophysikalischen Quellen der Gravitationsstrahlung für zukünftige weltraumgestützte Detektoren zusammen und geht kurz auf einige Datenanalysetechniken ein. Abschließend präsentiert der Abschnitt 1.4 meinen wissenschaftlichen Ausblick für die nächsten Jahre.

Der Großteil dieser Dissertation basiert auf sechs Artikeln, die meine wichtigsten Interessenthemen im Verlauf meines Doktoratsstudiums nachzeichnen. Die Artikel sind zusammen mit anderen verwandten Teilen meiner wissenschaftlichen Produktion in den jeweiligen Abschnitten „Relevante Veröffentlichungen“ aufgeführt. Kapitel 2 konzentriert sich auf zwei Artikel, die sich mit post-newtonschen Modifikationen zur Dynamik binärer schwarzer Löcher im gravitationswellengetriebenes Regime. Kapitel 3 sammelt zwei Artikel, die sich mit der Frage der Umweltauswirkungen auf Gravitationswellenformen befassen. Schließlich basiert Kapitel 4 auf zwei Artikeln über die Entstehung und die Multimessenger-Emission der masse-reichsten Schwarzen Löcher in unserem Universum. Die Kapitel 2, 3 und 4 werden durch kurze Einleitungen ergänzt, die im gleichen Ton und Stil wie Kapitel 1 geschrieben sind. Sie dienen teilweise als informelle Einführung in den detaillierteren Text, der aus Veröffentlichungen übernommen wurde. Sie spiegeln auch meine eigenen Gedanken zum allgemeinen Stand des Fachgebiets wider und heben einige interessante Unterschiede in der Aufmerksamkeit und Fachkenntnis in den beteiligten Gemeinschaften hervor.