

Type Ia Supernova Physics

Wolfgang Eitel Kerzendorf

A thesis submitted for the degree of

Doctor of Philosophy

of The Australian National University



THE AUSTRALIAN NATIONAL UNIVERSITY

Research School of Astronomy and Astrophysics

The Australian National University

Canberra ACT 0200

Australia

October 2008

Fancy schmancy italic text for a dedication.

Disclaimer

I hereby declare that the work in this thesis is that of the candidate alone, except where indicated below or in the text of the thesis.

Wolfgang E. Kerzendorf

28th April 2011

Acknowledgments

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec tincidunt semper neque. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec cursus velit ut felis. Quisque tellus. Curabitur in leo. Suspendisse volutpat. Nunc sodales sagittis magna. In vehicula viverra elit. Donec dapibus cursus mauris. Maecenas volutpat, sapien eu dictum molestie, mi lectus tristique augue, eu lobortis tellus nisi nec urna. Phasellus at est nec odio ultricies consequat. Nam eu urna.

Duis tempus imperdiet nunc. Integer vitae lorem. Sed id pede eu turpis rhoncus semper. Curabitur ante leo, facilisis vitae, interdum mollis, fermentum et, ipsum. Phasellus scelerisque, arcu et varius venenatis, lacus magna semper mauris, et aliquet augue nulla hendrerit libero. Suspendisse nec turpis et nisl congue posuere. Mauris sagittis ipsum nec lectus. Vestibulum nisl. Quisque ante. Nam accumsan, metus eu lobortis laoreet, massa velit elementum urna, ac tristique eros justo sit amet mauris. Vestibulum at arcu hendrerit massa placerat tristique. In magna velit, vestibulum eget, viverra ut, facilisis id, lectus. Cras justo lorem, varius non, tristique sit amet, lobortis nec, neque. Aenean cursus congue metus. Vestibulum id magna.

Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Donec tincidunt semper neque. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Donec cursus velit ut felis. Quisque tellus. Curabitur in leo. Suspendisse volutpat. Nunc sodales sagittis magna. In vehicula viverra elit. Donec dapibus cursus mauris. Maecenas volutpat, sapien eu dictum molestie, mi lectus tristique augue, eu lobortis tellus nisi nec urna. Phasellus at est nec odio ultricies consequat. Nam eu urna.

Duis tempus imperdiet nunc. Integer vitae lorem. Sed id pede eu turpis rhoncus semper. Curabitur ante leo, facilisis vitae, interdum mollis, fermentum et, ipsum. Phasellus scelerisque, arcu et varius venenatis, lacus magna semper mauris, et aliquet augue nulla hendrerit libero. Suspendisse nec turpis et nisl congue posuere. Mauris sagittis ipsum nec lectus. Vestibulum nisl. Quisque ante. Nam accumsan, metus eu lobortis laoreet, massa velit elementum urna, ac tristique eros justo sit amet mauris. Vestibulum at arcu hendrerit massa placerat tristique. In magna velit, vestibulum eget, viverra ut, facilisis id, lectus. Cras justo lorem, varius non, tristique sit amet, lobortis nec, neque. Aenean cursus congue metus. Vestibulum id magna.

CONTENTS

| | |
|--|-----------|
| Disclaimer | i |
| Abstract | iii |
| 1 Introduction | 1 |
| 1.1 Ancient Supernovae | 1 |
| 1.2 Modern observations and surveys | 2 |
| 1.2.1 Novae and Supernovae | 2 |
| 1.3 Supernovae in modern Astrophysics | 3 |
| 1.3.1 Core-Collapse | 3 |
| 1.3.2 Thermonuclear Supernovae | 3 |
| 1.4 Progenitors of Type Ia progenitors | 3 |
| 2 SN1572 | 5 |
| 3 SN1006 | 9 |
| Appendices | 15 |

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES

CHAPTER 1

INTRODUCTION

FOR millenia mankind has watched and studied the night sky. Apart from planets and comets it appeared an immutable canvas on which the stars rested. It comes as no surprise that for ancient civilizations supernovae (which were very rare events, occurring only every few centuries) were interpreted as important Omens as they broke the paradigm of the unchanging night skies. As these events are so rare their origin remained a mystery until the middle of the last century Baade & Zwicky (1934) suggested that "the phenomenon of a super-nova represents the transition of an ordinary star into a body of considerably smaller mass". For the last 85 years the "supernova-branch" in astronomy has been developing. There have been many advances, but there are still very unknowns about supernovae. This work addresses two subfields of supernovae: The unsolved progenitor problem for Type Ia Supernovae as well as quantifying the nucleosynthetic yield of Type Ia supernovae from low-resolution spectra.

1.1. Ancient Supernovae

One of the earliest recorded supernovae is SN185. It first appeared in December of 185 and was visible (however fading) till the August of 187. The main record is the *Houhanshu* (Zhao et al., 2006) which had described it to be close to α cen. Follow-up in modern times have revealed a supernova remnant in a distance of roughly 1 kpc near the α cen (Zhao et al., 2006). SN185 is often named as the oldest written record of a supernova, this is however sometimes contested as it is still not completely clear if the so called "guest star" was a comet or a supernovae.

The oldest undisputed record of a supernova is SN1006. It was observed worldwide by asian, arabic and european astronomers. mention 1885 in andromedaHartwig (1885)

1.2. Modern observations and surveys

The most famous and often quoted paper is Baade & Zwicky (1934). It termed the term supernova and established the difference between common novae and supernovae. Baade & Zwicky (1934) suggested that these luminous events are caused by the death of stars.

In order to understand the phenomenon of the supernova better Zwicky began a supernova search with the 18-inch Schmidt telescope. He found several supernovae which in turn inspired Minkowski to classify these supernovae by their spectra Minkowski (1941). He categorized the 14 known objects into two categories. Those without hydrogen he called 'Type I', those with hydrogen he called 'Type II' (see section ?? for a more detailed description).

With the advent of affordable computing in the 1960s the first computer controlled telescopes were build. The 24-inch telescope was built by the Northwestern University and was deployed in Corralitos Observatory in New Mexico. This search resulted 14 supernovae.

The 1990's can be described as the decade of the supernova surveys. The Leuschner Observatory Supernova Survey began in 1992 followed shortly by the Berkeley Automatic Imaging Telescope (BAIT). These searches resulted in 15 supernovae by 1994 (?). One of the most well known discoveries is SN 1994D. This supernovae was observed with the Hubble Space Telescope and resulted in an image that is widely used today (see Figure ??).

These successful programmes were succeeded by the Lick Observatory Supernova Search (LOSS) using the Katzman Automatic Imaging Telescope (KAIT). By the year 2000 it had found 96 supernovae (?).

1.2.1. Novae and Supernovae

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Donec ante eros, porttitor vel, pellentesque sit amet, laoreet ut, velit. Vestibulum sit amet turpis sed lorem vestibulum vulputate. Maecenas sed orci in ante pharetra accumsan. Sed id nibh. Pellentesque dapibus varius neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nullam ultrices augue. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam convallis placerat tortor. Suspendisse potenti. Mauris porttitor, justo et mollis dapibus, dui nunc accumsan dolor, quis sollicitudin est nisi at libero. Donec sollicitudin eros sed neque. Nunc at quam.

Donec id arcu. Sed vel sapien sit amet metus vestibulum fringilla. Etiam fringilla ligula at arcu. Donec bibendum sem et quam. Nam diam mauris, malesuada vel, placerat a, fermentum sit amet, lectus. Cras venenatis justo nec leo. Aliquam vulputate erat. Cras turpis. Cras gravida. Aliquam erat volutpat. Sed porta pretium

ligula. Mauris viverra, nisi euismod vulputate lobortis, est tortor consectetur arcu, at congue quam ipsum sit amet sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Mauris eget dolor.

1.3. Supernovae in modern Astrophysics

1.3.1. Core-Collapse

nucleosynthesis first stars hypernovae GRB connection massive stars expanding photosphere -> distance measurements binary evolution

1.3.2. Thermonuclear Supernovae

binary evolution chandrasekhar white dwarfs nucleosynthesis iron in particular cosmology

Suspendisse pulvinar. Suspendisse felis nisl, mattis sed, facilisis at, laoreet vitae, magna. Suspendisse potenti. Pellentesque et ligula vel mauris suscipit vestibulum. Phasellus eros sem, volutpat at, feugiat ut, aliquam sed, augue. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse suscipit. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In lectus dolor, commodo non, ultricies eu, scelerisque at, orci. Nulla semper. Suspendisse potenti. Donec orci diam, pellentesque tristique, tempus eget, tincidunt in, dolor. Maecenas tristique vehicula risus. Integer vitae nisi. Aenean sed enim eu nisl suscipit scelerisque. Integer non metus. Donec dui erat, bibendum eu, suscipit eu, facilisis non, erat. Morbi dapibus pede id justo. Fusce lobortis volutpat enim.

Morbi leo turpis, facilisis in, ultrices vel, adipiscing ut, erat. Praesent ligula. Maecenas quis velit in orci adipiscing aliquam. Quisque at pede. Integer at odio. Pellentesque feugiat tellus sed risus. Mauris et turpis. Nam sodales. Suspendisse mollis tincidunt sapien. In ac sapien et purus sollicitudin ultricies. Integer eget sapien quis ligula commodo egestas. Nulla aliquam, odio sed tincidunt blandit, pede dolor gravida nunc, nec condimentum lorem nulla eget dui.

1.4. Progenitors of Type Ia progenitors

CHAPTER 2

SN1572

LOREM ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris posuere, elit ac suscipit pulvinar, purus felis vehicula purus, sed pellentesque arcu nibh eu turpis. Vivamus volutpat convallis mi. Aliquam varius magna eu urna lacinia dignissim. Proin venenatis tellus. Fusce pede dui, semper varius, venenatis vitae, ultrices ac, dolor. Proin diam. Suspendisse eget purus id leo accumsan scelerisque. Integer rutrum. Etiam risus nibh, auctor eu, eleifend id, interdum ut, odio. Suspendisse potenti. Praesent ultricies, mauris convallis vestibulum viverra, nulla risus porttitor tellus, ut consequat velit nunc at nisi. Nulla rhoncus nisl quis urna. Morbi sed nunc at tortor rhoncus iaculis. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed augue. Nunc molestie.

Maecenas at lectus id nunc bibendum placerat. Suspendisse cursus, magna vitae blandit bibendum, nisi justo facilisis mi, at faucibus elit urna id felis. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas risus erat, ornare ac, varius nec, molestie sed, nulla. Praesent sem urna, sollicitudin in, vulputate at, suscipit vehicula, lectus. Integer mollis. Curabitur ornare, erat a facilisis sagittis, risus nulla faucibus diam, at vehicula justo magna nec urna. Pellentesque rhoncus, turpis eu facilisis molestie, diam ipsum tristique massa, nec auctor risus diam quis metus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce varius iaculis neque. Aliquam erat volutpat. Cras sit amet nisi sit amet diam imperdiet molestie. Quisque nec nisl. Cras nisi velit, pharetra sed, cursus nec, euismod ac, turpis.

Morbi tincidunt, tellus nec dignissim congue, risus libero sollicitudin tellus, sit amet porta magna libero sed ante. In id orci eget nibh ultrices ultrices. Sed feugiat lobortis augue. Integer nulla. Phasellus lacus diam, ornare id, ornare ut, dictum non, velit. Ut egestas, risus quis placerat fringilla, nisl nunc tincidunt ligula, et blandit dui diam vel sem. Morbi mattis turpis et purus pellentesque accumsan. Mauris enim massa, sollicitudin at, lobortis quis, ultricies sed, nunc. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. In in arcu. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices

posuere cubilia Curae; Donec eleifend molestie enim. Etiam justo. Sed pharetra ultrices lectus. Mauris imperdiet varius purus. Aliquam commodo adipiscing est. Pellentesque vitae odio fringilla pede viverra tempor. Vivamus sed sem. Quisque molestie elementum lorem. Proin aliquam odio vel sapien.

Quisque urna. Praesent scelerisque tortor nec elit. Pellentesque non urna. Duis non sapien id nunc rutrum facilisis. Donec lectus ipsum, ullamcorper vel, sollicitudina, tempus a, sapien. Nam dui. In hac habitasse platea dictumst. Integer eu ligula id lacus sollicitudin sodales. Nam aliquam nibh vitae urna gravida rutrum. Aliquam erat volutpat. Integer gravida mattis tellus. Etiam ipsum lacus, dapibus id, volutpat eget, vestibulum vel, pede. In odio quam, viverra id, adipiscing nec, consequat ut, orci. Nunc sit amet neque eu risus dictum ultrices. Proin sem quam, ullamcorper ut, posuere at, tempus eget, nibh. Cras ipsum. Phasellus bibendum purus eu enim. In hac habitasse platea dictumst. Praesent eget leo ac sem congue sodales.

Nunc malesuada turpis vitae neque. Donec sollicitudin libero vel nisi. Aliquam congue sem sed est. Integer eget ipsum. Nam eu mauris. Aliquam vehicula tempor nulla. Duis faucibus ornare elit. Vivamus nunc. Phasellus placerat, orci non blandit scelerisque, neque urna faucibus justo, non gravida pede sem a urna. Sed eget arcu eget enim pellentesque tincidunt. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In in nulla sed est venenatis sagittis. Mauris nibh orci, adipiscing in, blandit quis, vulputate vitae, tortor. Quisque venenatis. Ut leo quam, pellentesque vitae, dictum ut, vestibulum at, turpis. Aliquam id urna. Vestibulum nunc mauris, facilisis sed, molestie quis, consequat non, dui.

Duis id metus et tortor viverra varius. Vivamus consequat. Sed bibendum ultricies lectus. Pellentesque vulputate orci vitae augue. Vivamus dignissim pharetra mauris. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vestibulum purus purus, commodo in, consequat eu, lobortis eu, sem. Proin volutpat, pede eu imperdiet bibendum, nulla odio lobortis eros, eu aliquet neque nunc eu enim. Donec non nunc. Aliquam erat volutpat. Ut cursus fermentum orci.

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Donec ante eros, porttitor vel, pellentesque sit amet, laoreet ut, velit. Vestibulum sit amet turpis sed lorem vestibulum vulputate. Maecenas sed orci in ante pharetra accumsan. Sed id nibh. Pellentesque dapibus varius neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nullam ultrices augue. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam convallis placerat tortor. Suspendisse potenti. Mauris porttitor, justo et mollis dapibus, dui nunc accumsan dolor, quis sollicitudin est nisi at libero. Donec sollicitudin eros sed neque. Nunc at quam.

Donec id arcu. Sed vel sapien sit amet metus vestibulum fringilla. Etiam fringilla ligula at arcu. Donec bibendum sem et quam. Nam diam mauris, malesuada vel, placerat a, fermentum sit amet, lectus. Cras venenatis justo nec leo. Aliquam vulputate erat. Cras turpis. Cras gravida. Aliquam erat volutpat. Sed porta pretium

ligula. Mauris viverra, nisi euismod vulputate lobortis, est tortor consectetur arcu, at congue quam ipsum sit amet sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Mauris eget dolor.

Suspendisse pulvinar. Suspendisse felis nisl, mattis sed, facilisis at, laoreet vitae, magna. Suspendisse potenti. Pellentesque et ligula vel mauris suscipit vestibulum. Phasellus eros sem, volutpat at, feugiat ut, aliquam sed, augue. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse suscipit. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In lectus dolor, commodo non, ultricies eu, scelerisque at, orci. Nulla semper. Suspendisse potenti. Donec orci diam, pellentesque tristique, tempus eget, tincidunt in, dolor. Maecenas tristique vehicula risus. Integer vitae nisi. Aenean sed enim eu nisl suscipit scelerisque. Integer non metus. Donec dui erat, bibendum eu, suscipit eu, facilisis non, erat. Morbi dapibus pede id justo. Fusce lobortis volutpat enim.

Morbi leo turpis, facilisis in, ultrices vel, adipiscing ut, erat. Praesent ligula. Maecenas quis velit in orci adipiscing aliquam. Quisque at pede. Integer at odio. Pellentesque feugiat tellus sed risus. Mauris et turpis. Nam sodales. Suspendisse mollis tincidunt sapien. In ac sapien et purus sollicitudin ultricies. Integer eget sapien quis ligula commodo egestas. Nulla aliquam, odio sed tincidunt blandit, pede dolor gravida nunc, nec condimentum lorem nulla eget dui.

CHAPTER 3

SN1006

LOREM ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Mauris posuere, elit ac suscipit pulvinar, purus felis vehicula purus, sed pellentesque arcu nibh eu turpis. Vivamus volutpat convallis mi. Aliquam varius magna eu urna lacinia dignissim. Proin venenatis tellus. Fusce pede dui, semper varius, venenatis vitae, ultrices ac, dolor. Proin diam. Suspendisse eget purus id leo accumsan scelerisque. Integer rutrum. Etiam risus nibh, auctor eu, eleifend id, interdum ut, odio. Suspendisse potenti. Praesent ultricies, mauris convallis vestibulum viverra, nulla risus porttitor tellus, ut consequat velit nunc at nisi. Nulla rhoncus nisl quis urna. Morbi sed nunc at tortor rhoncus iaculis. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed augue. Nunc molestie.

Maecenas at lectus id nunc bibendum placerat. Suspendisse cursus, magna vitae blandit bibendum, nisi justo facilisis mi, at faucibus elit urna id felis. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Maecenas risus erat, ornare ac, varius nec, molestie sed, nulla. Praesent sem urna, sollicitudin in, vulputate at, suscipit vehicula, lectus. Integer mollis. Curabitur ornare, erat a facilisis sagittis, risus nulla faucibus diam, at vehicula justo magna nec urna. Pellentesque rhoncus, turpis eu facilisis molestie, diam ipsum tristique massa, nec auctor risus diam quis metus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce varius iaculis neque. Aliquam erat volutpat. Cras sit amet nisi sit amet diam imperdiet molestie. Quisque nec nisl. Cras nisi velit, pharetra sed, cursus nec, euismod ac, turpis.

Morbi tincidunt, tellus nec dignissim congue, risus libero sollicitudin tellus, sit amet porta magna libero sed ante. In id orci eget nibh ultrices ultrices. Sed feugiat lobortis augue. Integer nulla. Phasellus lacus diam, ornare id, ornare ut, dictum non, velit. Ut egestas, risus quis placerat fringilla, nisl nunc tincidunt ligula, et blandit dui diam vel sem. Morbi mattis turpis et purus pellentesque accumsan. Mauris enim massa, sollicitudin at, lobortis quis, ultricies sed, nunc. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. In in arcu. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices

posuere cubilia Curae; Donec eleifend molestie enim. Etiam justo. Sed pharetra ultrices lectus. Mauris imperdiet varius purus. Aliquam commodo adipiscing est. Pellentesque vitae odio fringilla pede viverra tempor. Vivamus sed sem. Quisque molestie elementum lorem. Proin aliquam odio vel sapien.

Quisque urna. Praesent scelerisque tortor nec elit. Pellentesque non urna. Duis non sapien id nunc rutrum facilisis. Donec lectus ipsum, ullamcorper vel, sollicitudina, tempor a, sapien. Nam dui. In hac habitasse platea dictumst. Integer eu ligula id lacus sollicitudin sodales. Nam aliquam nibh vitae urna gravida rutrum. Aliquam erat volutpat. Integer gravida mattis tellus. Etiam ipsum lacus, dapibus id, volutpat eget, vestibulum vel, pede. In odio quam, viverra id, adipiscing nec, consequat ut, orci. Nunc sit amet neque eu risus dictum ultrices. Proin sem quam, ullamcorper ut, posuere at, tempus eget, nibh. Cras ipsum. Phasellus bibendum purus eu enim. In hac habitasse platea dictumst. Praesent eget leo ac sem congue sodales.

Nunc malesuada turpis vitae neque. Donec sollicitudin libero vel nisi. Aliquam congue sem sed est. Integer eget ipsum. Nam eu mauris. Aliquam vehicula tempor nulla. Duis faucibus ornare elit. Vivamus nunc. Phasellus placerat, orci non blandit scelerisque, neque urna faucibus justo, non gravida pede sem a urna. Sed eget arcu eget enim pellentesque tincidunt. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In in nulla sed est venenatis sagittis. Mauris nibh orci, adipiscing in, blandit quis, vulputate vitae, tortor. Quisque venenatis. Ut leo quam, pellentesque vitae, dictum ut, vestibulum at, turpis. Aliquam id urna. Vestibulum nunc mauris, facilisis sed, molestie quis, consequat non, dui.

Duis id metus et tortor viverra varius. Vivamus consequat. Sed bibendum ultricies lectus. Pellentesque vulputate orci vitae augue. Vivamus dignissim pharetra mauris. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Vestibulum purus purus, commodo in, consequat eu, lobortis eu, sem. Proin volutpat, pede eu imperdiet bibendum, nulla odio lobortis eros, eu aliquet neque nunc eu enim. Donec non nunc. Aliquam erat volutpat. Ut cursus fermentum orci.

Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Donec ante eros, porttitor vel, pellentesque sit amet, laoreet ut, velit. Vestibulum sit amet turpis sed lorem vestibulum vulputate. Maecenas sed orci in ante pharetra accumsan. Sed id nibh. Pellentesque dapibus varius neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nullam ultrices augue. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam convallis placerat tortor. Suspendisse potenti. Mauris porttitor, justo et mollis dapibus, dui nunc accumsan dolor, quis sollicitudin est nisi at libero. Donec sollicitudin eros sed neque. Nunc at quam.

Donec id arcu. Sed vel sapien sit amet metus vestibulum fringilla. Etiam fringilla ligula at arcu. Donec bibendum sem et quam. Nam diam mauris, malesuada vel, placerat a, fermentum sit amet, lectus. Cras venenatis justo nec leo. Aliquam vulputate erat. Cras turpis. Cras gravida. Aliquam erat volutpat. Sed porta pretium

ligula. Mauris viverra, nisi euismod vulputate lobortis, est tortor consectetur arcu, at congue quam ipsum sit amet sem. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Mauris eget dolor.

Suspendisse pulvinar. Suspendisse felis nisl, mattis sed, facilisis at, laoreet vitae, magna. Suspendisse potenti. Pellentesque et ligula vel mauris suscipit vestibulum. Phasellus eros sem, volutpat at, feugiat ut, aliquam sed, augue. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse suscipit. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. In lectus dolor, commodo non, ultricies eu, scelerisque at, orci. Nulla semper. Suspendisse potenti. Donec orci diam, pellentesque tristique, tempus eget, tincidunt in, dolor. Maecenas tristique vehicula risus. Integer vitae nisi. Aenean sed enim eu nisl suscipit scelerisque. Integer non metus. Donec dui erat, bibendum eu, suscipit eu, facilisis non, erat. Morbi dapibus pede id justo. Fusce lobortis volutpat enim.

Morbi leo turpis, facilisis in, ultrices vel, adipiscing ut, erat. Praesent ligula. Maecenas quis velit in orci adipiscing aliquam. Quisque at pede. Integer at odio. Pellentesque feugiat tellus sed risus. Mauris et turpis. Nam sodales. Suspendisse mollis tincidunt sapien. In ac sapien et purus sollicitudin ultricies. Integer eget sapien quis ligula commodo egestas. Nulla aliquam, odio sed tincidunt blandit, pede dolor gravida nunc, nec condimentum lorem nulla eget dui.

BIBLIOGRAPHY

- Baade, W., & Zwicky, F. 1934, *Proceedings of the National Academy of Science*, 20, 254
- Hartwig, E. 1885, *Astronomische Nachrichten*, 112, 360
- Minkowski, R. 1941, *PASP*, 53, 224
- Zhao, F., Strom, R. G., & Jiang, S. 2006, *Chinese J. Astron. Astrophys.*, 6, 635

Appendices

Long Boring Tables

