

CONTENTS

	Page
Acknowledgement	iv
Abstract in Thai	vi
Abstract	viii
List of Tables	xiii
List of Figures	xv
Statement of Originality in Thai	xviii
Statement of Originality in English	xix
Chapter 1 Introduction	1
1.1 The Study of Variable Stars in Open Clusters	2
1.2 Classification of Variable Stars	3
1.3 Photometric Concepts and Magnitudes	9
1.4 The Motivation and Goal of this Study	13
1.5 Thesis Contents	14
Chapter 2 Theory	16
2.1 Stellar Structure and Evolution	16
2.2 Introduction of Astroseismology	29
2.3 Stellar Oscillation Across the Instability Strip	41
2.4 Binary Systems	48
Chapter 3 Observations and Data Reduction	51
3.1 Telescopes and Instruments	51

3.2 The Characteristics of the Various Observations	58
3.3 Data Reductions	66
Chapter 4 Data Analysis	71
4.1 Proper Motion and Membership Discussion of the Clusters	71
4.2 Colour Magnitude Diagram (CMD) and Parameters of the Clusters	81
Chapter 5 Frequency Analysis of Time-Series Data	89
5.1 Frequency Analysis Methods	89
5.2 Program Period04	97
Chapter 6 Variable Stars in the Open Cluster NGC 2126	102
6.1 Light Curves of Variable Stars	103
6.2 Monoperiodic variable stars	107
6.3 Multi-periodic Variables	111
6.4 New Variables	118
6.5 Eclipsing binaries	123
Chapter 7 The Eclipsing Binary with the Pulsating Component V551 Aur	128
7.1 Introduction	128
7.2 Observations and Data Reduction	129
7.3 The Binary System	131
7.4 Period Analysis of Residuals	133
7.5 Possible Mode Identification	137
7.6 Discussion and Conclusions	137
Chapter 8 Physical Properties of Algol-type Eclipsing Binary AO Ser	139
8.1 Introduction	139
8.2 Observations and data reduction	140
8.3 Data analysis and results	144
8.4 Summary and Conclusions	147
8.5 Acknowledgment	147
Chapter 9 Summary and Conclusions	148

Bibliography	151
Curriculum Vitae	174



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

LIST OF TABLES

	Page
Table 1.1	Properties of each broadband systems 12
Table 2.1	The properties of pulsating variables 33
Table 2.2	Pulsation characteristics of δ Scuti star 39
Table 3.1	The parameters of optical system for the KASI 1-m telescope 54
Table 3.2	The optical design parameters for the 2.4-m Thai National Telescope 56
Table 3.3	The scientific cameras available at Thai National Telescope 56
Table 3.4	The optical design parameters for the 0.5-m Thai National Telescope 57
Table 3.5	The CCD model of Apogee Altra U9000 58
Table 3.6	The CCD model of ST10XME (SBIG) camera 59
Table 3.7	The characteristics of the various telescopes 62
Table 3.8	The journal of observations of NGC 2126 64
Table 3.9	The journal of observations of NGC 1528 65
Table 3.10	Coordinates from the catalogue of reference and check stars 65
Table 3.11	The essential IRAF CCD image reduction tasks 69
Table 3.12	Summary of some IRAF tasks for aperture photometry and calibration 70
Table 4.1	Instrumental and standard magnitudes of stars in the reference cluster M67 82
Table 4.2	Physical parameters of the open cluster NGC 2126 84
Table 4.3	Basic information of the stars in NGC 1528 86
Table 4.4	Basic information of the stars in NGC 1528 (continued) 87
Table 5.1	The essential tasks in the menu bar of program Period04 100
Table 5.2	The essential tasks in the menu bar which includes Help menu 101

Table 6.1	Results of the frequency analysis of stars V1 and V2	110
Table 6.2	Results of the frequency analysis of multi-periodic variable stars	118
Table 6.3	Results of the frequency analysis of new variable stars	119
Table 6.4	Summary of all variable stars in the field of open cluster NGC 2126	126
Table 6.5	Review variable stars in open clusters	127
Table 7.1	Basic information about V551 Aur, reference, and check stars	129
Table 7.2	Times of light minima of V551 Aur	133
Table 7.3	System Parameters of V551 Aur	134
Table 7.4	Frequency analysis of the pulsating component in V551 Aur	134
Table 8.1	Coordinates of reference and check stars for AO Ser	140
Table 8.3	Journal of spectroscopic observations of AO Ser using the HERMES spectrograph	142
Table 8.4	Journal of spectroscopic observations of AO Ser using the DIS Spectrograph	143
Table 8.5	The physical parameters of AO Ser	146

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1.1 Distributions of variable stars in open clusters	3
Figure 1.2 A classification of variable stars	4
Figure 1.3 A pulsation HR diagram showing several classes of pulsating star	5
Figure 1.4 The flare observed on UV Ceti	7
Figure 1.5 Light curves of the different types of eclipsing binary stars	8
Figure 1.6 Schematic passbands of broad-band systems	12
Figure 2.1 Diagrams of a pressure gradient inside the stars	17
Figure 2.2 Isochrones for a cluster of stars with masses between $0.8M_{\odot}$ and $8.6M_{\odot}$	28
Figure 2.3 Doppler images of the radial component of the $l = 3$ octupole modes	32
Figure 2.4 Propagation of gravity waves in a cross-section of a Sun-like star	35
Figure 2.5 Geometry of rotational splitting of pulsating stars	40
Figure 2.6 A phase curve of a Blazhko star observed by MACHO	46
Figure 3.1 The Mount Lemmon Optical Astronomy Observatory (LOAO)	53
Figure 3.2 The 1-m Robotic Telescope at Mount Lemmon Optical Astronomy Observatory (LOAO)	53
Figure 3.3 The Thai National Observatory (TNO)	55
Figure 3.4 The 2.4-m telescope at Thai National Observatory	55
Figure 3.5 The 0.5-m telescope at Thai National Observatory	57
Figure 3.6 The 40-cm telescope at Beersel Hills Observatory (BHO)	59
Figure 3.7 A Digitized Sky Survey (DSS) image of NGC 2126	61
Figure 3.8 Finding chart for the variable stars in the field of NGC 2126	62
Figure 3.9 A Digitized Sky Survey (DSS) image of NGC 1528	63
Figure 3.10 A flowchart of the stellar photometry using program IRAF	66

Figure 4.1	The proper motion vector-point diagram of all stars in the FOV of NGC 2126	73
Figure 4.2	The proper motion vector-point diagram of the stars with $ \mu < 30$ mas/yr in NGC 2126	74
Figure 4.3	Distribution of proper motion in RA (mas/yr) of NGC 2126	75
Figure 4.4	Distribution of proper motion in Dec (mas/yr) of NGC 2126	76
Figure 4.5	The proper motion vector-point diagram of all stars in the FOV of NGC 1528	77
Figure 4.6	The proper motion vector-point diagram of the stars with $ \mu < 30$ mas/yr in NGC 1528	78
Figure 4.7	Distribution of proper motion in RA (mas/yr) of NGC 1528	79
Figure 4.8	Distribution of proper motion in Dec (mas/yr) of NGC 1528	80
Figure 4.9	Colour-magnitude diagram of NGC 2126	83
Figure 4.10	Colour-magnitude diagram of NGC 1528	88
Figure 5.1	The sinc function and its square	92
Figure 6.1	Light curves of variable star V1	103
Figure 6.2	Light curves of variable star V2	103
Figure 6.3	Light curves of variable star V3	104
Figure 6.4	Light curves of variable star V5	104
Figure 6.5	Light curves of variable star ZV1	105
Figure 6.6	Light curves of variable star ZV2	105
Figure 6.7	Light curves of new variable star N1	106
Figure 6.8	Light curves of new variable star N2	106
Figure 6.9	Colour-magnitude diagram of NGC 2126	108
Figure 6.10	Amplitude spectra of the long period variable star V1	109
Figure 6.11	Amplitude spectra of the long period variable star V2	110
Figure 6.12	Amplitude spectra of the multi-periodic δ Scuti V3	112
Figure 6.13	Amplitude spectra of the multi-periodic δ Scuti V5	114
Figure 6.14	Amplitude spectra of the multi-periodic δ Scuti ZV1	116
Figure 6.15	Amplitude spectra of the multi-periodic δ Scuti V5	117

Figure 6.16	Amplitude spectrum of δ Scuti-type star N1	120
Figure 6.17	Amplitude spectrum of δ Scuti-type star N2	121
Figure 6.18	Phase diagrams of eight new and known pulsating variables	122
Figure 6.19	Phase diagram of V549 Aur	124
Figure 6.20	Individual V light curve of eclipsing binaries V4 and ZV3	124
Figure 7.1	A Digitized Sky Survey image of NGC 2126	130
Figure 7.2	Epoch of orbital period for V551 Aur	131
Figure 7.3	The phase diagram of V551 Aur	132
Figure 7.4	Power spectra of the pulsating component of V551 Aur	135
Figure 7.5	The phase diagram for V551 Aur plotted against the dominant pulsation period	136
Figure 8.1	A Digitized Sky Survey (DSS) image of AO Ser	141
Figure 8.2	Phase diagram of AO Ser in B and V filter	145
Figure 8.3	Radial velocity plot of primary and secondary components of AO Ser	145

ข้อความแห่งการริเริ่ม

1. ในงานวิจัยนี้ การวัดแสงทางโฟโตเมตรีในฟิลเตอร์ B และ V ของดาวที่มีความสว่างต่ำสุด 17 แมกนิจูดที่อยู่ในข้อมูลภาพได้ถูกนำเสนอ ข้อมูลเหล่านั้นถูกใช้เพื่อวัดสมบัติทางกายภาพของกระจุกดาวเปิด NGC 2126 และ NGC 1528 ซึ่งประกอบด้วย อายุ ค่าความเป็นโลหะ และระยะทางของกระจุกดาวจากเส้นไอโซโครนเทียบกับแผนภาพคู่ลำดับระหว่างสีกับความสว่างของดาวฤกษ์
2. ดาวแปรแสง 11 ดวงในข้อมูลภาพของ NGC 2126 ได้ถูกตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วยดาวยุบขยายแปดดวง และระบบดาวคู่อุปราคาสามระบบ มีหนึ่งระบบที่เป็นดาวคู่แบบบังกันที่มีสมาชิกดวงหนึ่งเป็นดาวยุบขยาย ดาว δ Scuti มีการสั่นหลายความถี่สองดวง N1 และ N2 ที่อยู่ในแถบความถี่ไม่เสถียร ได้ถูกค้นพบและจัดจำแนกประเภท
3. ระบบดาวคู่อุปราคา V551 Aur ได้ถูกศึกษาอย่างละเอียดและได้ค่าคาบการโคจรใหม่เท่ากับ 1.1731744 ± 0.0000002 วัน กราฟแสงได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้เทคนิควิลสัน-เดวินีเพื่อวัดพารามิเตอร์ของระบบจากการศึกษาครั้งนี้ สมบัติทางกายภาพที่แม่นยำและอัตราส่วนระหว่างคาบการโคจรกับคาบการสั่นของระบบได้ถูกนำเสนอ
4. หากไม่พิจารณาดาวที่มีค่าการเคลื่อนที่เฉพาะมากกว่า 30 มิลลิฟิลิปดา/ปี ค่าการเคลื่อนที่เฉพาะเฉลี่ยของกระจุกดาว NGC 2126 และ NGC 1528 ได้ถูกวัด เนื่องจากค่าเหล่านี้มีค่าใกล้เคียงศูนย์ จึงไม่สามารถแยกดาวในกระจุกกับดาวพื้นหลังได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นค่าการเคลื่อนที่เฉพาะที่แม่นยำของดาวที่มีค่าการเคลื่อนที่เฉพาะสูง LHS 1809 ได้ถูกวัดเช่นกัน
5. ข้อมูลภาพถ่ายจากซีซีดีในฟิลเตอร์ B และ V ของระบบดาวคู่อุปราคา AO Ser สังเกตการณ์ที่หอดูดาว Beersel Hills (BHO) ประเทศเบลเยียมและข้อมูลสเปกโทรสโคปีโดยใช้ HERMES สเปกโตรกราฟ กราฟแสงและกราฟความเร็วในแนวเล็งใหม่ที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์พร้อมกันโดยใช้เทคนิควิลสัน-เดวินี ชนิดระบบดาวคู่อุปราคาแบบกึ่งแยกกัน ได้ถูกยืนยันสำหรับระบบนี้ ค่าอัตราส่วนที่แม่นยำจากการโคจรด้วยความเร็วในแนวเล็ง และค่าสมบัติทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ รัศมี และความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่ผิวของดาวทั้งสองได้ถูกวัด

STATEMENT OF ORIGINALITY

1. In this study, the calibrated B and V photometry of stars in the FOV down to $V \approx 17$ mag are presented. These data were used to determine the physical parameters of the open clusters NGC 2126 and NGC 1528 including the cluster extinction, age, metallicity and distance from a theoretical isochrone fitting in the colour-magnitude diagram.
2. Eleven new and known variable stars in the field of the cluster NGC 2126 were detected. Eight of them are pulsating stars, two of them are Algol-type eclipsing binaries and one is an eclipsing binary with a pulsating component. Two new multi-periodic δ Scuti variables N1 and N2 located in the area of δ Scuti instability strip are discovered and identified.
3. Eclipsing binary V551 Aur was studied in detail. The new value of the orbital period of V551 Aur 1.1731744 ± 0.0000002 days is obtained. The light curve was analyzed using the Wilson-Devinney technique in order to obtain a new set of the system's parameters. According to analyses in this study, the accurate physical properties and ratio between orbital and pulsation period of the system are presented.
4. By excluding the high proper motion stars with $|\mu| > 30$ mas/yr, the average proper motion of the clusters NGC 2126 and NGC 1528 were measured. These values are near to zero, therefore the cluster members are not easily distinguishable in proper motion from the background stars. The accurate values of high proper motion star LHS 1809 are determined.
5. CCD times of the light minimum in B and V bands of the eclipsing binary AO Ser were obtained using the 40-cm telescope at Beersel Hills Observatory and spectroscopic data using HERMES high-resolution spectrograph. Our new light and radial velocity curves of AO Ser were simultaneously analyzed using the Wilson-Devinney technique. An accurate mass ratio from the binary radial velocity orbit and absolute physical parameters, effective temperatures, radii and a surface gravity of components are determined.