

ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็น
เนบิวลาเอ็นจีซี 1977

วศัญญ แพทย์วงศ์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาดาราศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2562

ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็น
เนบิวลาเอ็นจีซี 1977

วาทัญญ แพทย์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาดาราศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤษภาคม 2562

ความเร็วในแนวตั้งของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

วาทัญญ แพทย์วงศ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาดาราศาสตร์

คณะกรรมการสอบ

อาจารย์ที่ปรึกษา

..... ประธานกรรมการ

(ดร.สุภชัย อวิพันธุ์)

.....

(ผศ.ดร.ศิรามาศ โกมลจินดา)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.ศิรามาศ โกมลจินดา)

..... กรรมการ

(ผศ.ดร.สุวิชา วรรณวิเชียร)

10 พฤษภาคม 2562

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

แต่

มารดา



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)ที่ให้การศึกษาดูแลหลักสูตรบัณฑิตศึกษา ขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศิรามาศ โกมลจินดา ที่ช่วยให้คำปรึกษาและวิจารณ์ผลงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอบคุณ ผศ.ดร.สุวิชา วรรณวิเชียร ที่ช่วยติดตามและแนะนำการส่งงานเอกสารตลอดหลักสูตร ขอบคุณ ดร.ศุภชัย อวិพันธุ์ ที่ช่วยให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขอบคุณนางสาวประณิดา เสพปันคำ ที่ช่วยแนะนำวิธีการใช้โปรแกรมในการเก็บข้อมูลภาคสังเกตการณ์ ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในคันทันหอดูดาวท้องฟ้าตลอดการสังเกตการณ์ ขอบคุณนางสาวนภาพร อะทะโน ที่ช่วยแนะนำการใช้โปรแกรมประมวลผลและวิเคราะห์ผลการสังเกตการณ์ ขอบคุณนางสาว นาริมาส เจะและ ที่เขียนวิธีการใช้โปรแกรมประมวลผลการสังเกตการณ์ และขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่น รุ่นพี่ รุ่นน้องทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทั้งการเรียน การวิจัย ตลอดหลักสูตรปริญญาโทสาขาดาราศาสตร์

วทัญญู แพทย์วงษ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็น
เนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ผู้เขียน

นายทัญญู แพทย์วงษ์

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ดาราศาสตร์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ศิรามาศ โกมลจินดา

บทคัดย่อ

ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 ในกลุ่มดาวนายพรานถูกสังเกตโดยใช้สเปกโตรกราฟ MRES (ความละเอียด 18,000) กับกล้องโทรทรรศน์ ขนาด 2.4 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา ผลลัพธ์ในระหว่างการสังเกตการณ์พบว่าดาว HD 37018 HD 37058 และ 2MASS J05352174-0453118 มีความเร็วในแนวเส้นคงที่ ดาว HD 37059 และ HD 294264 มีความเร็วในแนวเส้นไม่คงที่ อาจเป็นดาวคู่สเปกตรัม มีเพียงดาว HD 37018 ที่เป็นสมาชิกของแอสโซซิเอชันโอปี 1 ดี และดาวฤกษ์ทั้งห้าดวงมีทิศทางการเคลื่อนที่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Radial Velocities of Stars in Field of View of NGC 1977
Author	Mr. Watunyoo Patwong
Degree	Master of Science (Astronomy)
Advisor	Asst.Prof.Dr.Siramas Komonjinda

ABSTRACT

Radial velocity observations for bright stars in field of view of the nebula NGC 1977 were obtained using the MRES spectrograph ($R \sim 18000$) with the 2.4 m telescope at the Thai National Observatory. The results show that, during observation period, the stars HD 37018, HD 37058 and 2MASS J05352174-0453118 have constant radial velocities. HD37059 and HD294264 have variation in radial velocities. They might be spectroscopic binary systems. All stars studied in this research move in difference directions. It is found that only HD 37018 is possibly a member of OB1d association.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
ABSTRACT	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา เชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์	7
บทที่ 2 ทฤษฎี	8
2.1 ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์	8
2.2 ความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์	9
2.3 ความเร็วรวมของดาวฤกษ์	10
2.4 ดาวคู่สเปกตรัม	11
บทที่ 3 การสังเกตการณ์	13
3.1 การถ่ายภาพสเปกตรัม Bias	17

3.2	การถ่ายภาพสเปกตรัม Flat Field	17
3.3	การถ่ายภาพสเปกตรัมหลอดทอเรียม-อาร์กอน	17
3.4	การถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์	18
บทที่ 4	วิเคราะห์ผล	20
4.1	ผลจากการสังเกตการณ์	20
4.2	การหาความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์	21
4.3	การหาความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์	31
4.4	การหาความเร็วรวมของดาวฤกษ์	32
บทที่ 5	สรุป	34
บรรณานุกรม		36
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	วิธีประมวลผลสเปกตรัมดาวฤกษ์	40
ภาคผนวก ข	ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในแต่ละความยาวคลื่น	63
ภาคผนวก ค	ความยาวคลื่นทอเรียม-อาร์กอนอ้างอิง	71
ภาคผนวก ง	ค่าคงที่	75
ประวัติผู้เขียน		76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์จากงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	5
ตารางที่ 1.2 การเคลื่อนที่ในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	6
ตารางที่ 3.1 ตำแหน่ง ไซติมาตร และเวลาถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์ในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	19
ตารางที่ 4.1 ความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลกจากจุดกึ่งกลางเวลาสังเกตการณ์	27
ตารางที่ 4.2 ความเร็วในแนวเส้นเฉลี่ยของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	31
ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนที่ในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	31
ตารางที่ 4.4 ระยะทางระหว่างดาวฤกษ์กับดวงอาทิตย์	31
ตารางที่ 4.5 ความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	32
ตารางที่ 4.6 ความเร็วรวมของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งของเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	2
ภาพที่ 1.2 ดาวฤกษ์เกิดใหม่ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	3
ภาพที่ 1.3 แผนภูมิความเร็วในแนวเส้นของดาว HD 37018 มีคาบการโคจร 5.8585 วัน	4
ภาพที่ 1.4 ดาว HD 37018 มีดาวฤกษ์ข้างเคียง 6-7 ดวงอยู่โดยรอบ	6
ภาพที่ 1.5 ทิศทางการกำลังพันก๊าซออกจากตัวดาวฤกษ์ 6 ดวง	7
ภาพที่ 2.1 ทิศความเร็วโลกและทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังดาวฤกษ์	8
ภาพที่ 2.2 ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์	10
ภาพที่ 2.3 ความเร็วในแนวเส้น ความเร็วในแนวขวาง และความเร็วรวมของดาวฤกษ์	11
ภาพที่ 2.4 แผนภูมิความเร็วในแนวเส้นของดาวคู่สเปกตรัม	12
ภาพที่ 3.1 กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร	13
ภาพที่ 3.2 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 15 มกราคม 2562	14
ภาพที่ 3.3 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 16 มกราคม 2562	15
ภาพที่ 3.4 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 17 มกราคม 2562	15
ภาพที่ 3.5 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 18 มกราคม 2562	16
ภาพที่ 3.6 ห้องควบคุมแสดงสถานะกล้องโทรทรรศน์และโปรแกรมสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ	16
ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	18
ภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งดาวฤกษ์ผ่านสไลด์ในสเปกโตรกราฟ MRES	18
ภาพที่ 3.9 หน้าจอแสดงผลสภาพอากาศในช่วงเวลาสังเกตการณ์	19
ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายสเปกตรัมดาว HD 37018	20
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายสเปกตรัม Flat Field	20
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายสเปกตรัมหลอดก๊าซทอเรียมและอาร์กอน	21
ภาพที่ 4.4 ความยาวคลื่นไฮโดรเจนและฮีเลียมของดาวฤกษ์	22
ภาพที่ 4.5 ความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก	26
ภาพที่ 4.6 วันจูเลียนศูนย์สุริยะ	27
ภาพที่ 4.7 ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977	29
ภาพที่ 4.8 ความเร็วในแนวเส้น ความเร็วในแนวขวางและความเร็วรวมของดาวฤกษ์	33

ภาพที่ ก.1	การวางไฟล์ trim ในแฟ้มทำงาน	40
ภาพที่ ก.2	เขียนคำสั่ง trim เพื่อตัดกราฟ	41
ภาพที่ ก.3	การจัดแฟ้มแยกประเภทไฟล์	41
ภาพที่ ก.4	การวางไฟล์ zeroc.exe ในแฟ้ม Bias	42
ภาพที่ ก.5	เขียนคำสั่ง zeroc เพื่อหาค่าเฉลี่ย	42
ภาพที่ ก.6	เขียนคำสั่ง sub เพื่อลบสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์	43
ภาพที่ ก.7	เขียนคำสั่ง zeroc เพื่อเฉลี่ย Flat Field	43
ภาพที่ ก.8	การเลือกไฟล์มาทำ Alignment สเปกตรัม	44
ภาพที่ ก.9	การเลือกเมนู Mark เพื่อสร้างเครื่องหมาย	44
ภาพที่ ก.10	การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมและทำแนวทางของออร์เดอร์ลำดับที่ 5	45
ภาพที่ ก.11	การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมและทำแนวทางของออร์เดอร์ลำดับที่ 6	45
ภาพที่ ก.12	การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมเสร็จสิ้น	45
ภาพที่ ก.13	การเปิดภาพตัดขวางสเปกตรัม	46
ภาพที่ ก.14	การลบจุดในแกน y	47
ภาพที่ ก.15	กำหนดขอบเขตการทำ Alignment	47
ภาพที่ ก.16	กำหนดความโค้งให้เข้ากับสเปกตรัม	48
ภาพที่ ก.17	กำหนดระยะห่างขอบเขตของพื้นหลังสเปกตรัม	48
ภาพที่ ก.18	กำหนดขอบเขตความโค้งและพื้นหลัง	49
ภาพที่ ก.19	การนำไฟล์ Mark มาใช้	49
ภาพที่ ก.20	เลือกตำแหน่งในแกน X และแกน Y	50
ภาพที่ ก.21	เลือกประเภทอุปกรณ์ที่ใช้	50
ภาพที่ ก.22	เลือกภาพสเปกตรัมทั้งหมดมาทำ Alignment	51
ภาพที่ ก.23	การหาร Flat Field	51
ภาพที่ ก.24	เลือกสเปกตรัมที่จะนำมาหาร Flat Field	52
ภาพที่ ก.25	เลือกไฟล์ Flat Field เฉลี่ย	52
ภาพที่ ก.26	เลือกสเปกตรัม Th-Ar	53
ภาพที่ ก.27	ขยายภาพสเปกตรัม Th-Ar	53
ภาพที่ ก.28	กรอกความยาวคลื่น	54
ภาพที่ ก.29	สร้างแบบจำลองให้ซ้อนทับกับสเปกตรัม	54
ภาพที่ ก.30	การสร้างเส้นโค้งให้เข้ากับสเปกตรัม	55
ภาพที่ ก.31	บันทึกชื่อสเปกตรัมในนามสกุล .dcm	55

ภาพที่ ก.32	เรียกชื่อไฟล์นามสกุล .lin	56
ภาพที่ ก.33	เปิดไฟล์สเปกตรัมดวงอาทิตย์มาเปรียบเทียบ	56
ภาพที่ ก.34	สร้างไฟล์นามสกุล .txt จากไฟล์นามสกุล .dcm	57
ภาพที่ ก.35	สร้างไฟล์นามสกุล .fds	57
ภาพที่ ก.36	Th-Ar ที่เปรียบเทียบความยาวคลื่นจากดวงอาทิตย์	57
ภาพที่ ก.37	เลือกไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์มาเปรียบเทียบ	58
ภาพที่ ก.38	การจัดวางไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์ในแฟ้ม Normalized	59
ภาพที่ ก.39	แก้ไขรายชื่อไฟล์ใน List และเขียนคำสั่ง summ.exe	59
ภาพที่ ก.40	สร้างเส้นฐานสเปกตรัม (Base Line) และ Normalized	60
ภาพที่ ก.41	การหาความเร็วของผู้สังเกตบนโลก	61
ภาพที่ ก.42	การเปรียบเทียบตำแหน่งความยาวคลื่นของธาตุ	61
ภาพที่ ก.43	การหาความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมดูดกลืน	62

บทที่ 1

บทนำ

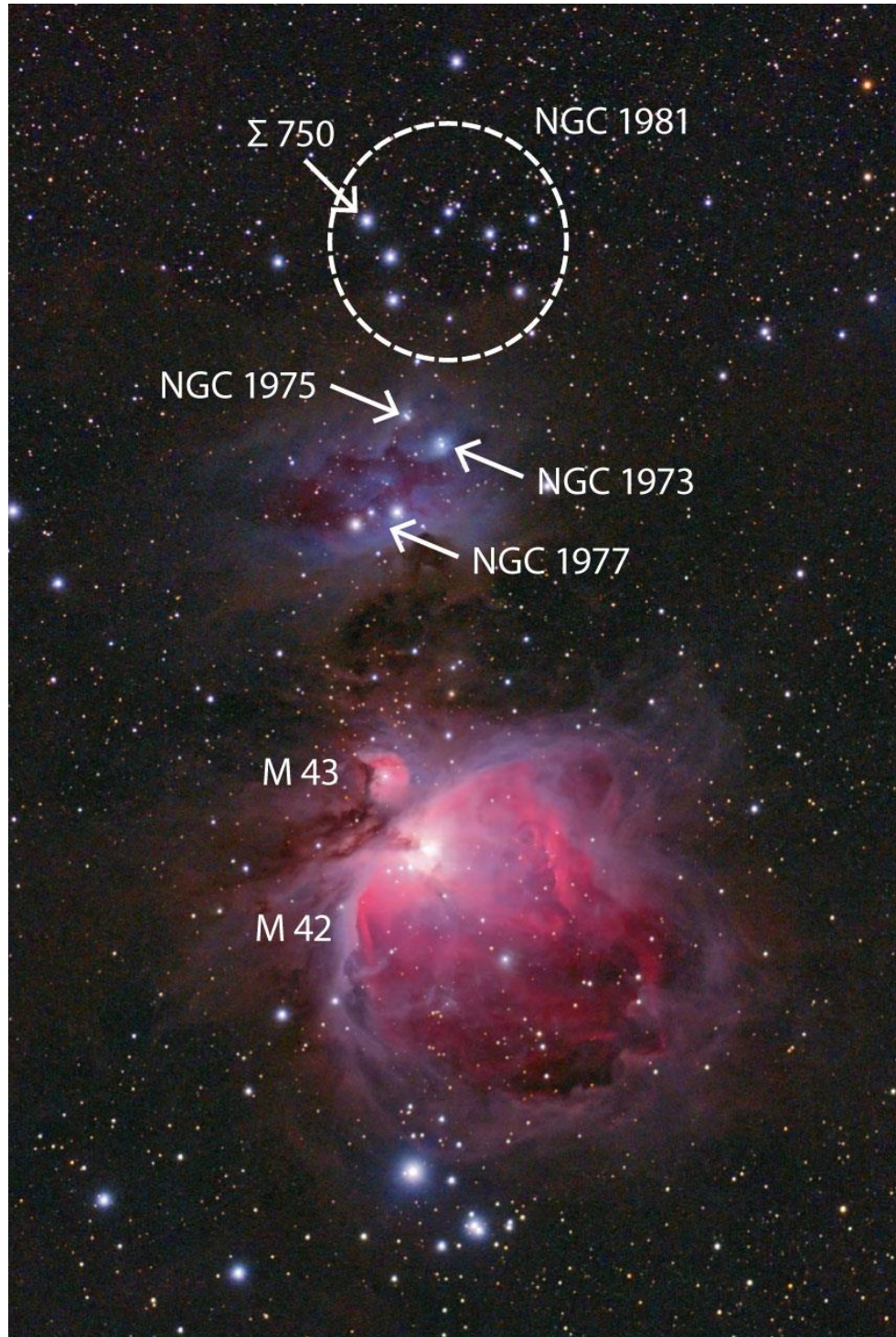
ช่วงอายุของดาวฤกษ์ดวงหนึ่งใช้เวลาหลายล้านปีในการเกิดกระบวนการต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มก่อตัวเป็นดาวฤกษ์จนกระทั่งเปลี่ยนสภาพจากดาวในลำดับหลักในที่สุด การศึกษาความเร็วในแนวเล็งบ่งชี้ถึงพฤติกรรมดาวฤกษ์และการวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมองค์ประกอบหลัก จะทำให้อธิบายได้ว่าดาวฤกษ์มีลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงอย่างไรในช่วงแรกของวิวัฒนาการ งานวิจัยนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งในการเพิ่มเติมข้อมูลการสังเกตการณ์ดาวฤกษ์อายุน้อย เพื่ออธิบายลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ในขณะนั้น และนำไปสู่ขั้นตอนถัดไปของวิวัฒนาการดาวฤกษ์ได้

1.1 ประวัติความเป็นมา

ดาวฤกษ์กลุ่มเล็ก ๆ มีสมาชิก 10-100 ดวงในพื้นที่การเห็นเนบิวลาสะท้อนแสง เอ็นจีซี 1977 เกิดจากการยุบรวมตัวของมวลก๊าซไฮโดรเจนขนาดใหญ่ในช่วงเริ่มต้นของการก่อตัวเป็นดาวฤกษ์และยังมีมวลก๊าซไฮโดรเจนหลงเหลือจากการก่อตัวเป็นดาวฤกษ์ไปแล้วอยู่จำนวนมากที่กำลังจะยุบตัวเป็นดาวฤกษ์เพิ่มจำนวนขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ ดาวสว่างในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 เป็นดาวฤกษ์อายุน้อยที่สุดในกาแล็กซีทางช้างเผือกที่ผู้วิจัยเลือกมาศึกษาความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่

เนบิวลาเอ็นจีซี 1977 เป็นเนบิวลาสะท้อนแสงในกลุ่มดาวนายพรานมีระยะห่างประมาณ 1,300 ปีแสงจากดวงอาทิตย์ [van Leeuwen, 2007] เกิดจากการกระจายของฝุ่นและเมฆโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความหนาแน่นสัมพันธ์กับโครงสร้างกังหันของกาแล็กซีทางช้างเผือก บริเวณใกล้เคียงกับเนบิวลา มีดาวฤกษ์อายุน้อยที่สุดที่มีจุดกำเนิดร่วมกัน ได้แก่ แอสโซซิเอชัน โอบี 1 ดี เชื่อว่าสมาชิกในแอสโซซิเอชันมาจากการยุบตัวของพื้นที่เล็กในเมฆโมเลกุลขนาดใหญ่ ก๊าซและฝุ่นโคจรรอบผลักดันให้ดาวฤกษ์ไม่ยึดเหนี่ยวซึ่งกันและกันและเริ่มกระจายตัวออกไป กลุ่มของดาวฤกษ์ที่อาศัยอยู่อย่างประปรายในอาณาเขตระหว่าง 20 ถึง 300 ปีแสง มีสมาชิกขนาดใหญ่จำนวน 10-100 ดวง ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์

ขนาดเล็กถึงขนาดกลางหลายร้อยดวง ที่กำเนิดเมื่อ 2-10 ล้านปีก่อน แรงยึดเหนี่ยวระหว่างดาวไม่เพียงพอที่จะยึดสมาชิกไว้ด้วยกันได้อย่างถาวร สันนิษฐานว่าการรวมกลุ่มของดาวแต่ละดวงได้แยกออกไปจากจุดศูนย์กลางที่เป็นกำเนิดของดาวฤกษ์ทั้งหมด



ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งของเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 [27]

การระบุงค์ประกอบทางเคมีของแอสโซซิเอชันประกอบด้วยดาวฤกษ์ที่มีสเปกตรัมชนิด โอ และ บี โดยประเภทย่อย 1 ดี คือแอสโซซิเอชันที่มีอายุน้อยที่สุด คุณสมบัติทางฟิสิกส์บ่งชี้ถึงพฤติกรรมของดาวฤกษ์ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างจากกระจุกดาวอายุมาก ดาวฤกษ์ในแอสโซซิเอชันจะเคลื่อนที่อย่างอิสระภายใต้แรงกระทำระหว่างดาวใกล้เคียงมากกว่าแรงโน้มถ่วงจากกาแล็กซี แต่ยังคงโคจรรอบกาแล็กซีด้วยกัน ดังนั้นในแอสโซซิเอชันอายุน้อยเช่น โอบี 1 ดี จะเคลื่อนที่ในทิศทางและความเร็วที่ต่างจากกัน เมื่อสมาชิกของกระจุกดาวเพิ่มมากขึ้นจึงมีผลทำให้ดาวเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันถ่วงเข้าจุด ๆ หนึ่ง ตามทฤษฎีวิวัฒนาการของกระจุกดาว



ภาพที่ 1.2 ดาวฤกษ์เกิดใหม่ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 [28]

ด้วยเหตุนี้การวิจัยความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์เกิดใหม่ที่อยู่ในช่วงเริ่มก่อตัวเป็นดาวฤกษ์ จะสนับสนุนและเติมเต็มข้อมูลทางกายภาพ เช่น ความเร็ว รัศมีในบรรยากาศของดาวฤกษ์ได้

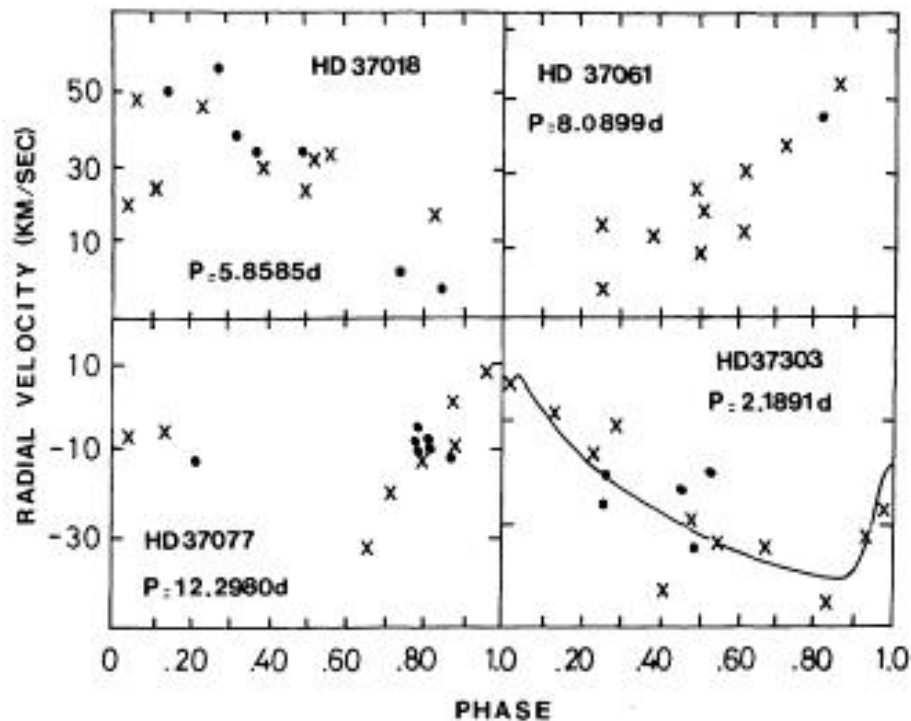
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

1.2.2 เพื่อหาทิศทางและการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเกี่ยวกับดาวฤกษ์อายุน้อยที่เคยสังเกตการณ์มาจากข้อมูลการสำรวจของดาวเทียมฮิปปาร์คอสที่ใช้สำหรับวัดตำแหน่งดาวฤกษ์ได้รับการตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1999 นำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของงานวิจัย [Brown et al., 1999] ผู้วิจัยได้รวบรวมการสังเกตการณ์ความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 ประกอบด้วยดาวฤกษ์ 6 ดวง ในการสังเกตการณ์ที่ผ่านมาพบว่าดาวฤกษ์บางดวงมีค่าความเร็วในแนวเล็งที่ใกล้เคียงกัน และแตกต่างกัน เช่น ปี ค.ศ. 1953 1970 และ 2017 พบว่าดาว HD 37058 มีความเร็วใกล้เคียงกัน [Wilson, 1953; Abt, 1970; Patwong et al., 2017] ปี ค.ศ. 2015 และ 2017 พบว่าดาว HD 37059 มีค่าความเร็วในแนวเล็งแตกต่างกันมาก [Cottaar et al., 2015; Patwong et al., 2017]



ภาพที่ 1.3 แผนภูมิความเร็วในแนวเล็งของดาว HD 37018 มีคาบการโคจร 5.8585 วัน [5]

ปี ค.ศ.1970 1991 2006 และ 2017 พบว่าดาว HD 37018 มีค่าความเร็วในแนวเล็งไม่แน่นอน [Abt, 1970; Morrell & Levato, 1991; Gontcharov, 2006; Patwong et al., 2017] อีกทั้งยังสรุปได้ว่าดาว HD 37018 เป็นดาวคู่สเปกตรัมที่มีคาบการโคจร 5.8585 วัน [Morrell & Levato, 1991] ส่วนดาว HD 294264 ยังไม่เคยสังเกตการณ์ความเร็วในแนวเล็งมาก่อน

ตารางที่ 1.1 ความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์จากงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ชื่อดาวฤกษ์	ความเร็วในแนวเล็ง (กิโลเมตร/วินาที)		
HD 37077	-	-08.50 [7]	-08.12 [13]
HD 37018	+47.10 [3]	+28.40 [6]	+00.80 [13]
HD 37058	+22.80 [2]	+24.90 [4]	+23.62 [13]
HD 37059	+54.409 [11]	-	+32.19 [13]
HD 294264	-	-	+60.27 [13]
2MASS J05352174-0453118	+28.30 [9]	-	+30.02 [13]

เนื่องจากผลงานวิจัย วันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2559 [Patwong et al., 2017] ผู้วิจัยได้ทดลองเก็บข้อมูลภาพถ่ายสเปกตรัมดาวฤกษ์ 6 ดวง โดยใช้ดาว HD 37077 เป็นดาวอ้างอิงสำหรับหาความคลาดเคลื่อนและดาว HD 37018 มีความเร็วในแนวเล็งคลาดเคลื่อนจากข้อมูลอ้างอิงค่อนข้างมาก [Gontcharov, 2006] ผู้วิจัยจึงค้นหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ระบุว่าดาว HD 37018 เป็นดาวคู่สเปกตรัมมีคาบการโคจร 5.8585 วัน [Morrell & Levato, 1991] ดังนั้นควรวางแผนการสังเกตการณ์อย่างน้อยครึ่งคาบการโคจร เพื่อหาแนวโน้มการเคลื่อนที่ของระบบดาวคู่นี้ให้สอดคล้องตามงานวิจัยดังกล่าว

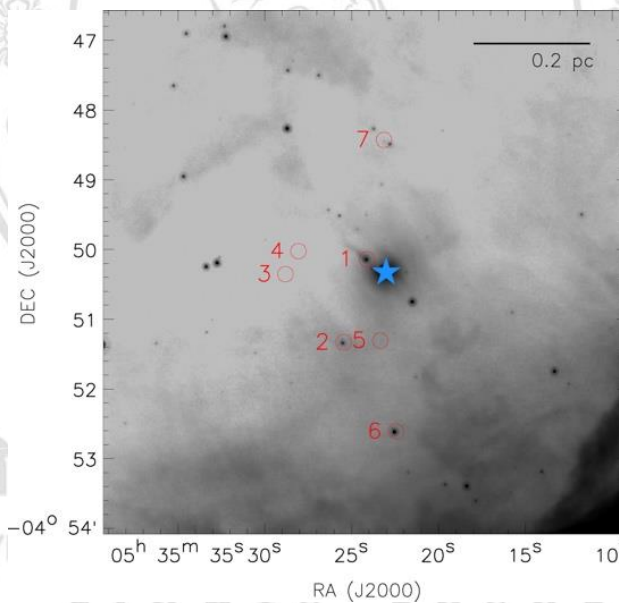
ลำดับถัดมาเป็นข้อมูลการวัดระยะทางจากวิธีพารัลแลกซ์และการเคลื่อนที่ในแนวขวางของดาวฤกษ์ (Proper Motion) ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลที่ได้รับการตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 2013 โดยหอสังเกตการณ์กองทัพเรือสหรัฐ (U.S. Naval Observatory) ได้นำข้อมูลจากดาวเทียมฮิปปาร์คอส (Hipparcos) และไทโช 2 (Tycho-2) ในปี ค.ศ. 2012 มาวิเคราะห์หาตำแหน่งดาวที่เปลี่ยนแปลงในหนึ่งปี [Zacharias et al., 2013] และในปี ค.ศ. 2018 นักวิจัยจากหอสังเกตการณ์ยุโรปตอนใต้ (ESO) นำข้อมูลจากดาวเทียมไกอา (Gaia) ระหว่างปี ค.ศ. 2014-2016 ทั้งสิ้น 22 เดือน วิเคราะห์ตำแหน่งของดาวฤกษ์ที่มีโชติมาตรน้อยกว่า 21 [Brown et al., 2018]

ตารางที่ 1.2 การเคลื่อนที่ในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	Proper motion RA (มิลลิฟิลิปดา/ปี)	Proper motion Dec (มิลลิฟิลิปดา/ปี)	มอดูลาร์แอสเทรีย (มิลลิฟิลิปดา)	ความเร็วในแนวขวาง (กิโลเมตร/วินาที)
HD 37077	-2.219 [14]	8.446 [14]	8.7188 [14]	9.64 [10]
HD 37018	4.52 [8]	-7.11 [8]	3.69 [8]	10.90 [10]
HD 37058	1.336 [14]	0.809 [14]	2.1669 [14]	6.21 [10]
HD 37059	2.003 [14]	0.746 [14]	2.6004 [14]	3.13 [10]
HD 294264	1.148 [14]	-1.597 [14]	2.2206 [14]	9.35 [10]
2MASS J05352174-0453118	1.977 [14]	0.807 [14]	2.5044 [14]	-

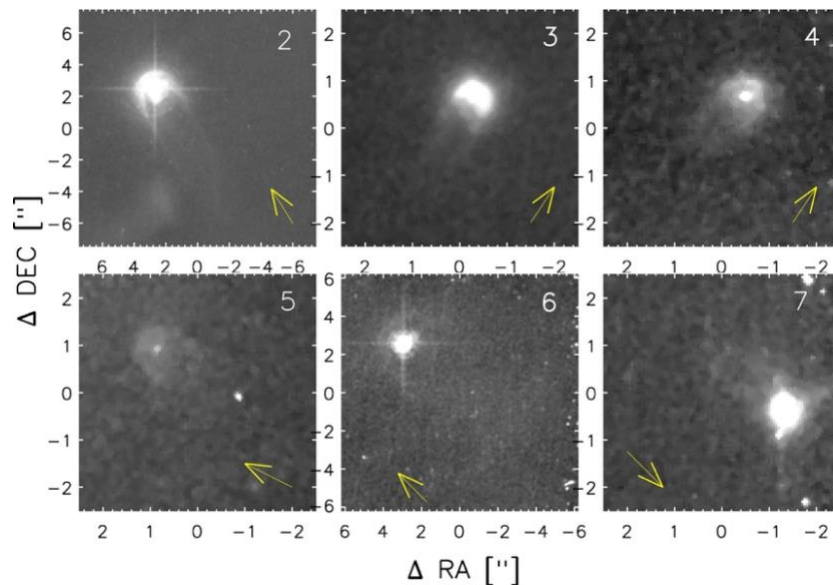
หมายเหตุ : [8] ดาวเทียมฮับเบิลและโทโค 2, [10] หอสังเกตการณ์กองทัพอากาศสหรัฐฯ, [14] ดาวเทียมไกอา

ในส่วนของดาว HD 37077 ไม่อยู่ใกล้เนบิวลาเอ็นจีซี 1977 เนื่องจากดาวมีระยะทางต่างจากเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 ค่อนข้างมาก(1000 ปีแสง) คาดว่าจะเป็นดาวฤกษ์ที่ปรากฏอยู่ด้านหน้าเนบิวลา



ภาพที่ 1.4 ดาว HD 37018 มีดาวฤกษ์ข้างเคียง 6-7 ดวงอยู่โดยรอบ [12]

งานวิจัยล่าสุดในปี ค.ศ.2016 พบว่าภาพถ่ายดาว HD 37018 มีดาวฤกษ์ข้างเคียง 6-7 ดวงอยู่โดยรอบ กำลังพุ่งก๊าซออกจากตัวดาวในทิศทางตรงข้ามกับดาว HD 37018 อาจเป็นสาเหตุให้ดาว HD 37018 เปลี่ยนแปลงความเร็วแบบไม่คงที่ [Kim et al., 2016]



ภาพที่ 1.5 ทิศทางการกำลังพันก๊าซออกจากตัวดาวฤกษ์ 6 ดวง(ถูกscrubไปยังดาว HD 37018) [12]

การวิจัยในหัวข้อ “ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977” มีจุดประสงค์เพื่อหาความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์นี้อีกครั้ง พร้อมทั้งวิเคราะห์ว่าดาวดวงใดบ้างที่เป็นดาวคู่สเปกตรัม และได้ข้อสรุปว่าในช่วงต้นของวิวัฒนาการ ดาวฤกษ์มีความเร็วและทิศทางแตกต่างกันอย่างไร

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา เชนทฤษฎีและเชิงประยุกต์

1.4.1 นำความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 ไปใช้อ้างอิงในงานวิจัยอื่น ๆ ได้ในอนาคต

1.4.2 นำทิศทางของดาวฤกษ์ไปสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ในวิวัฒนาการเดียวกันได้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์

ทฤษฎีเกี่ยวกับการหาความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ (Radial Velocity) เกิดจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของแสงดาวฤกษ์ที่กำลังเคลื่อนที่ออกหรือเข้าหาผู้สังเกต จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นเลื่อนไปจากความยาวคลื่นขณะวัตถุหยุดนิ่งโดยเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นในสุดสเปกตรัมของก๊าซที่ทำในห้องปฏิบัติการ ใช้สมการ

$$v_r = c \left(\frac{\lambda_{obs} - \lambda_0}{\lambda_0} \right) + V_a \quad (2.1)$$

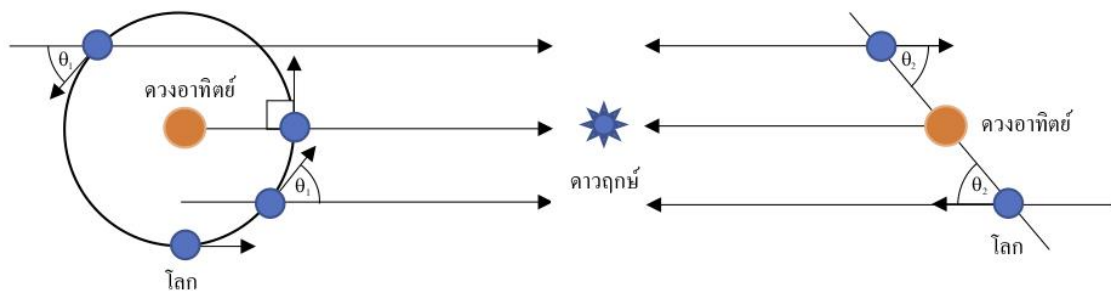
โดยที่ v_r คือ ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที

c คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที

λ_{obs} คือ ความยาวคลื่นที่สังเกตการณ์ได้

λ_0 คือ ความยาวคลื่นขณะวัตถุหยุดนิ่ง

V_a คือ ความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลกในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.1 ทิศความเร็วโลกและทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังดาวฤกษ์

การหาความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก จะต้องใช้ตำแหน่งระหว่างดวงอาทิตย์โลก และดาวฤกษ์ ทำมุมกัน θ ณ วัน เวลา ที่สังเกตการณ์ และความเร็วของโลกในวงโคจร เพื่อนำมาคำนวณหาความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก โดยใช้สมการ

$$V_a = v_e \cos \theta_1 \cos \theta_2 \quad (2.2)$$

โดยที่ v_e คือ ความเร็วของโลกในวงโคจรในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที

θ_1 คือ มุมระหว่างทิศความเร็วโลกทำกับทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังดาวฤกษ์

θ_2 คือ มุมระหว่างระนาบของระบบสุริยะทำกับทิศทางจากดวงอาทิตย์ไปยังดาวฤกษ์

2.2 ความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์

การหาความเร็วในแนวขวาง (Transverse Velocity) เริ่มจากการหาระยะทางด้วยวิธีพารัลแลกซ์ คือ การวัดตำแหน่งเชิงมุมที่เปลี่ยนแปลงของดาวฤกษ์ในเวลาครึ่งปี โดยมุมพารัลแลกซ์เป็นครึ่งหนึ่งของมุมที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด กล่าวคือมุมระหว่างดวงอาทิตย์ ดาวฤกษ์ และโลก ดังสมการ

$$D = \frac{1}{p} \quad (2.3)$$

โดยที่ D คือ ระยะทางจากดวงอาทิตย์ไปยังดาวฤกษ์ในหน่วยพาร์เซก (1 พาร์เซก = 3.26 ปีแสง)

p คือ มุมพารัลแลกซ์ในหน่วยฟิลิปดา

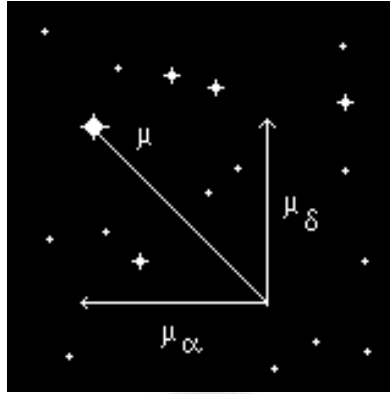
และการเคลื่อนที่ในแนวขวาง (Proper Motion) คือ ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ที่เปลี่ยนตำแหน่งในหนึ่งปี ประกอบด้วยระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ในพิกัดไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension) และเดคลิเนชัน (Declination) โดยใช้สมการ

$$\mu^2 = \mu_\alpha^2 + \mu_\delta^2 \quad (2.4)$$

โดยที่ μ คือ ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ที่เปลี่ยนตำแหน่งในหนึ่งปี

μ_α คือ ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ในพิกัดไรต์แอสเซนชัน

μ_δ คือ ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ในพิกัดเดคลิเนชัน



ภาพที่ 2.2 แสดงระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ในพิกัดไรต์แอสเซนชัน (μ_α) ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ในพิกัดเดคลิเนชัน (μ_δ) และระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ที่เปลี่ยนตำแหน่งในหนึ่งปี (μ) [30]

จากนั้นใช้ตรีโกณมิติคำนวณระยะทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ในหนึ่งปี ใช้สมการ

$$\tan(\mu) = \frac{s}{D} \quad (2.5)$$

โดยที่ μ คือ ระยะเชิงมุมของดาวฤกษ์ที่เปลี่ยนตำแหน่งในหนึ่งปีในหน่วยเรเดียน

s คือ ระยะทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ในหนึ่งปีในหน่วยกิโลเมตร

D คือ ระยะทางระหว่างดาวฤกษ์กับดวงอาทิตย์ในหน่วยกิโลเมตร

และหาความเร็วในแนวขวางคืออัตราส่วนระหว่างระยะทางที่ดาวเคลื่อนที่ต่อเวลา ใช้สมการ

$$v_t = \frac{s}{t} \quad (2.6)$$

โดยที่ v_t คือ ความเร็วในแนวขวางในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที

t คือ เวลาที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ในหนึ่งปีในหน่วยวินาที

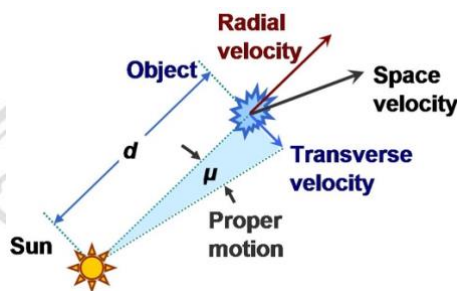
2.3 ความเร็วรวมของดาวฤกษ์

การเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ในอวกาศอยู่ในรูปแบบเวกเตอร์ 3 มิติ โดยที่แกน x, y คือการเคลื่อนที่ในแนวขวางในทิศทางไรต์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดาวฤกษ์ แกน z คือการเคลื่อนที่ในแนวเล็งของดาวฤกษ์ ในทางปฏิบัติผู้สังเกตสามารถตรวจวัดความเร็วในแนวเล็งและความเร็วในแนวขวางได้ โดยที่ความเร็วในแนวขวางเป็นผลรวมของความเร็วในแนวขวางในทิศทางไรต์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของดาวฤกษ์เรียบร้อยแล้ว หลังจากที่ได้ความเร็วในแนวเล็งและความเร็วในแนวขวางของดาว

ถกษ์ นำมารวมกันจะได้ความเร็วรวมของดาวฤกษ์ (Space Velocity) พร้อมทั้งทิศทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ไปในอวกาศ ตามสมการ

$$v^2 = v_r^2 + v_t^2 \quad (2.7)$$

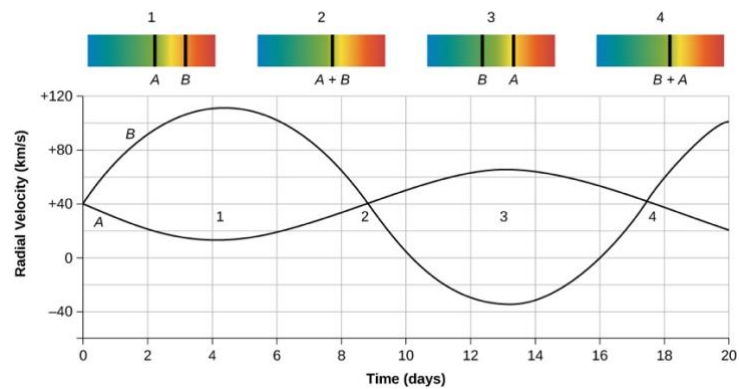
โดยที่ v คือ ความเร็วรวมของดาวฤกษ์ในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.3 แสดงความเร็วในแนวเล็ง ความเร็วในแนวขวาง และความเร็วรวมของดาวฤกษ์ [31]

2.4 ดาวคู่สเปกตรัม

ดาวคู่สเปกตรัมคือดาวฤกษ์ที่โคจรรอบกันแต่ไม่สามารถมองเห็นการโคจรด้วยตาเปล่าหรือการสังเกตอุปราคาที่ดาวฤกษ์บังกันแล้วเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงได้ ด้วยเหตุนี้นักดาราศาสตร์จึงใช้วิธีถ่ายภาพสเปกตรัมเพื่อตรวจสอบว่าดาวฤกษ์เหล่านี้เป็นดาวคู่หรือไม่ เพราะจากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของแสง เมื่อแสงดาวฤกษ์เคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต ความยาวคลื่นแสงจะลดลง และถ้าแสงดาวฤกษ์เคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ความยาวคลื่นแสงจะเพิ่มขึ้น โดยการวิเคราะห์สเปกตรัมดาวคู่จะต้องนำความยาวคลื่นของอะตอมที่ถูกดูดกลืนหรือเปล่งแสงในชั้นบรรยากาศดาวฤกษ์เปลี่ยนแปลงจากจุดหยุดนิ่งคือความยาวคลื่นของอะตอมธาตุนั้นที่ตรวจวัดในห้องปฏิบัติการบนโลก นำไปหาความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ด้วยการเปรียบเทียบกับความเร็วแสง และนำความเร็วในแนวเล็งมาเขียนกราฟให้ครบคาบการโคจร ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นลำดับ จึงจะสรุปได้ว่าดาวฤกษ์มีแนวโน้มที่จะเป็นดาวคู่สเปกตรัมหรือไม่



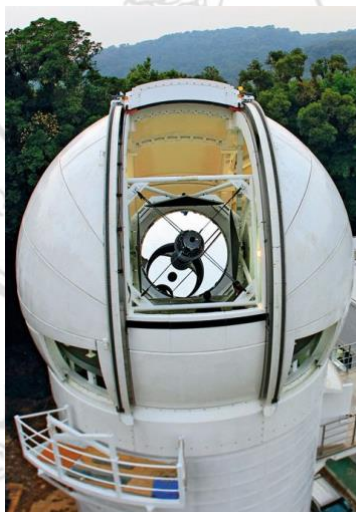
ภาพที่ 2.4 แสดงแผนภูมิความเร็วในแนวเล็งของดาวคู่สเปกตรัม [29]

วันจูเลียน (Julian Date) คือวันที่เริ่มนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ก่อนคริสต์ศักราช 4,713 ปี ตามปฏิทินจูเลียน หรือวันที่ 22 พฤศจิกายน ก่อนคริสต์ศักราช 4,714 ปี ตามปฏิทินเกรกอเรียน(ปฏิทินปัจจุบัน) ณ เวลา 12 นาฬิกาตรง จนถึงเวลาสังเกตการณ์ นักดาราศาสตร์นิยมใช้วันจูเลียนในงานวิจัยเกี่ยวกับดาวคู่ เนื่องจากการคำนวณวันจูเลียนจะมีลักษณะเป็นวัฏจักร วันที่เดียวกันจะได้เลขชุดเดียวกันและจะซ้ำกัน หลังจุดทศนิยมเมื่อครบรอบวันถัดไป นำไปหาคาบการโคจรของระบบดาวคู่ได้อย่างสะดวก ในงานวิจัยนี้ใช้วันจูเลียนศูนย์กลาง (Heliocentric Julian Date) ที่ใช้เวลาจุดศูนย์กลางเป็นดวงอาทิตย์

บทที่ 3

การสังเกตการณ์

ขอบเขตการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายสเปกตรัมดาวฤกษ์ในแอสโซซิเอชันโอปี1ดี โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา กม. 44 อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2,457 เมตร พิกัด $18^{\circ} 34' 21''$ เหนือ และ $98^{\circ} 29' 07''$ ตะวันออก [23]

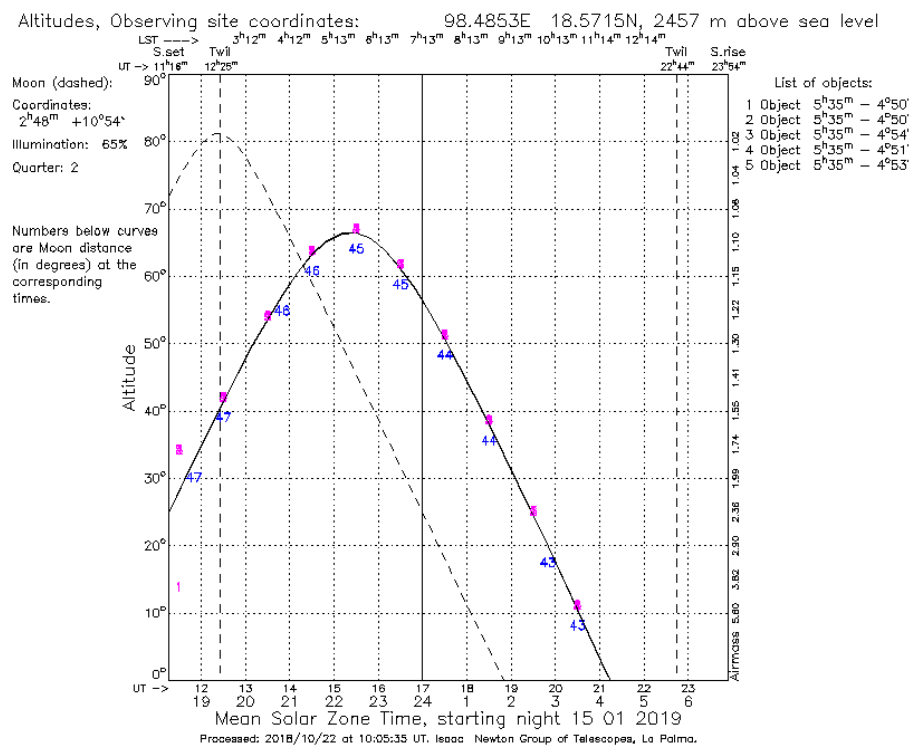


ภาพที่ 3.1 กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร

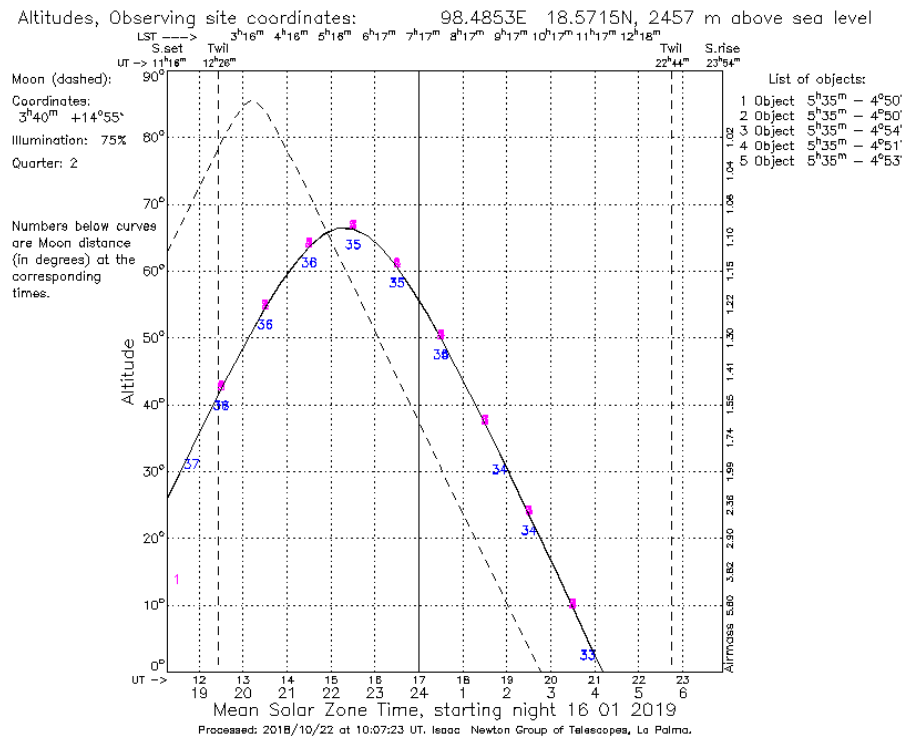
และอุปกรณ์ถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์คือสเปกโตรกราฟ MRES (Medium Resolution Spectrograph) มีความละเอียดระดับปานกลาง ($R \sim 18,000$) และครอบคลุมความยาวคลื่นระหว่าง 390-880 นาโนเมตร โดยใช้ปริซึมแบบอีเชลล์ (Echelle) แยกสเปกตรัมในช่วง 42 ออเดอร์ ซึ่งบันทึกด้วยกล้องแอนดอร์ (Andor) ที่มีพิกเซลขนาด 2048×512 พิกเซล โดยแต่ละพิกเซลมีขนาด 13.5 ไมโครเมตร ทำงานด้วยระบบหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว ควบคุมอุณหภูมิคงที่ -100 องศาเซลเซียส [24]

การเก็บข้อมูลภาพถ่ายสเปกตรัมในเบื้องต้น ผู้สังเกตการณ์ออกแบบการใช้เวลาถ่ายภาพให้เหมาะสมกับความสว่างของดาวฤกษ์ เพื่อให้ได้สัญญาณภาพที่ดีที่สุด พบว่าเครื่องมือถ่ายภาพมีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลดาวฤกษ์ได้เพียง 5 ดวง ดาวฤกษ์ HD 37018 มีความเร็วในแนวเส้นกลางเคลื่อนจากข้อมูลอ้างอิงค่อนข้างมาก [Patwong et al., 2017] สันนิษฐานว่าอาจเป็นดาวคู่สเปกตรัมจากผลงานตีพิมพ์ที่ผ่านมา [Morrell & Levato, 1991] ซึ่งครั้งถัดไปจะต้องใช้เวลาสังเกตการณ์อย่างน้อยครึ่งหนึ่งของคาบการโคจร ประมาณ 4 วัน เพื่อนำมาเขียนกราฟความเร็วในแนวเส้นของระบบดาวคู่สเปกตรัม

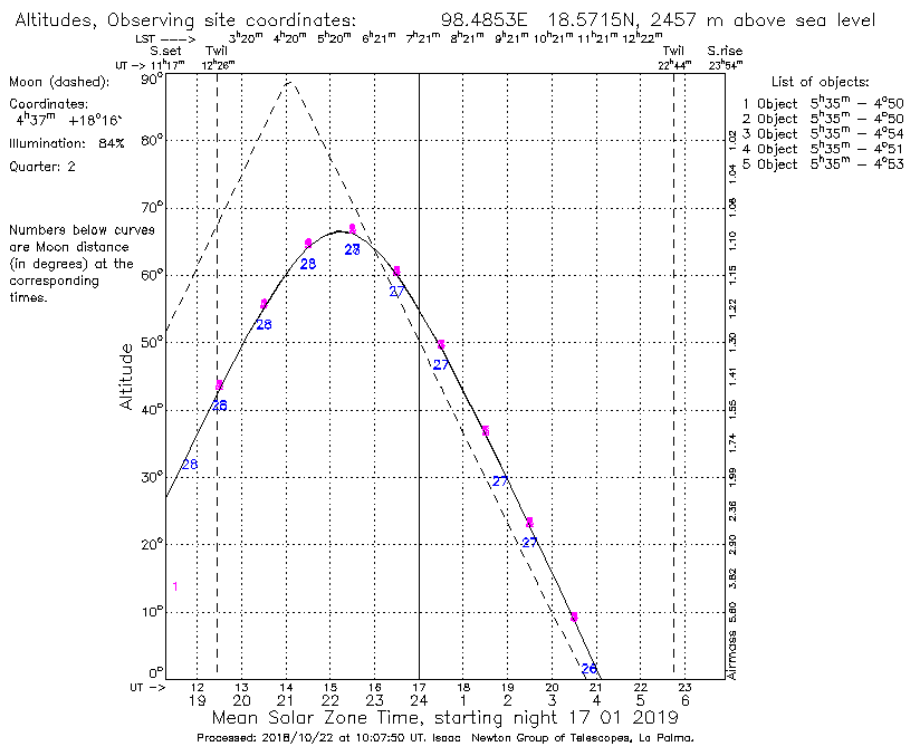
วิธีการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยจะสังเกตการณ์ดาวฤกษ์ ในช่วงเวลา 19.00-24.00 น. ระหว่างวันที่ 15-18 มกราคม พ.ศ. 2562 เป็นเวลา 4 วัน โดยเข้าไปกรอกข้อมูลในเว็บไซต์ Isaac Newton group of telescope เลือก Astronomy > Object visibility [19] กรอกข้อมูลในตาราง จะแสดงมุมเงยของเนบิวลาและดวงจันทร์ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากแสงจันทร์ต่อสเปกตรัมดาวฤกษ์ หากถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้ดวงจันทร์มาก ๆ จะมีเส้นสเปกตรัมดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากดวงจันทร์แทรกเข้ามาในชุดสเปกตรัมดาวฤกษ์ด้วยซึ่งยากต่อการวิเคราะห์ผล ผู้วิจัยควรเลือกวันที่เนบิวลาอยู่ห่างจากดวงจันทร์มากพอที่จะไม่เกิดผลกระทบดังกล่าว



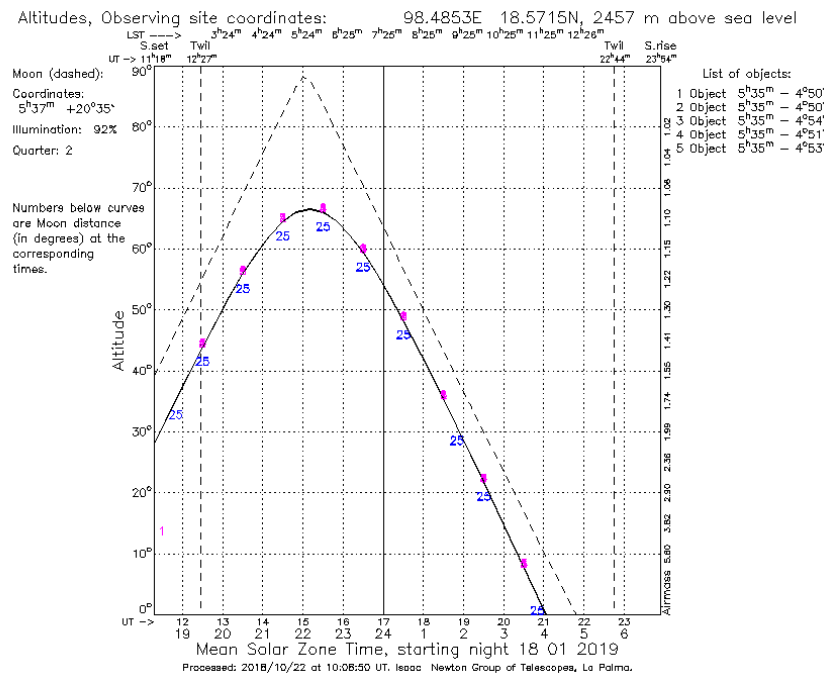
ภาพที่ 3.2 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 15 มกราคม 2562 [19]



ภาพที่ 3.3 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 16 มกราคม 2562 [19]

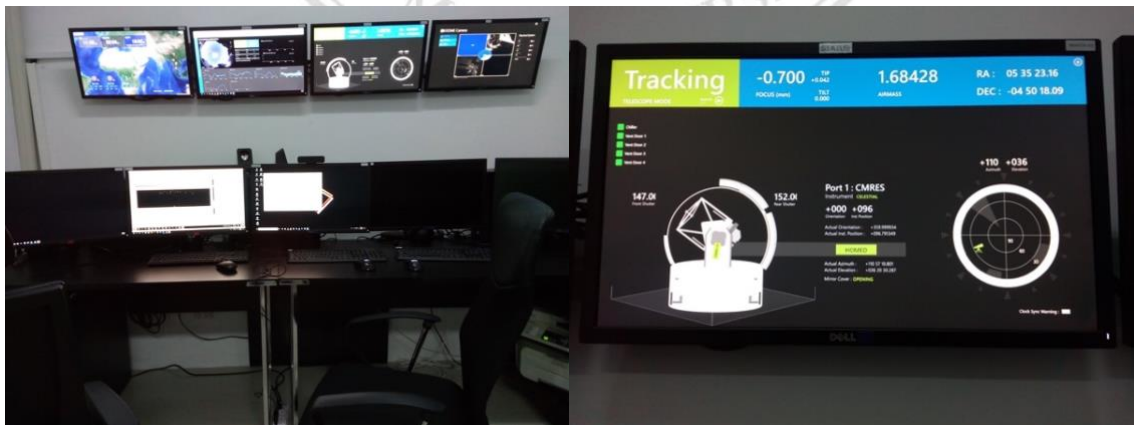


ภาพที่ 3.4 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 17 มกราคม 2562 [19]



ภาพที่ 3.5 ข้อมูลตำแหน่งของ NGC 1977 วันที่ 18 มกราคม 2562 [19]

ผู้สังเกตการณ์เก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ห้องควบคุม ชั้น 2 อุทยานดาราศาสตร์สิรินธร ต.คอนแก้ว อ.แมริม จ.เชียงใหม่ และแจ้งตำแหน่งวัตถุท้องฟ้าแก่เจ้าหน้าที่เทคนิคดาราศาสตร์ ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา ดำเนินการค้นหาวัดวัตถุท้องฟ้า



ภาพที่ 3.6 ห้องควบคุมแสดงสถานะกล้องโทรทรรศน์และ โปรแกรมทำงานอุปกรณ์ต่าง ๆ

3.1 การถ่ายภาพสเปกตรัม Bias

การถ่ายภาพสเปกตรัม Bias คือการถ่ายภาพที่ 0 วินาที เพื่อให้ได้สัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์การถ่ายภาพ โดยปกติภาพถ่ายดาวฤกษ์ทุกภาพจะมีสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวมอยู่ด้วย ดังนั้นผู้ทำวิจัยควรถ่ายภาพสเปกตรัม Bias ก่อนหรือหลังสังเกตการณ์ดาวฤกษ์ เพื่อนำไปลบออกจากทุกสเปกตรัมในภายหลัง

ตั้งค่าการถ่ายภาพ Bias ที่เวลา 0.0001 วินาที (เป็นค่าน้อยที่สุดของกล้องถ่ายภาพ) โดยปิดหน้ากล้อง เพื่อให้ได้สัญญาณรบกวนจากเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เพียงอย่างเดียว

3.2 การถ่ายภาพสเปกตรัม Flat Field

การถ่ายภาพสเปกตรัม Flat Field คือการถ่ายภาพแสงสม่ำเสมอ เพื่อนำไปแก้ไขความไม่สม่ำเสมอของภาพถ่ายสเปกตรัมดาวฤกษ์ ปกติภาพถ่ายดาวฤกษ์จะมีแสงไม่สม่ำเสมอ ตรงกลางภาพจะสว่างมากกว่าขอบภาพ เนื่องจากประสิทธิภาพการรับแสงในพื้นที่ของซีซีดีไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้ทำวิจัยควรถ่ายภาพสเปกตรัม Flat Field ก่อนหรือหลังสังเกตการณ์ดาวฤกษ์ เพื่อนำไปหารออกจากสเปกตรัมดาวฤกษ์ในภายหลัง

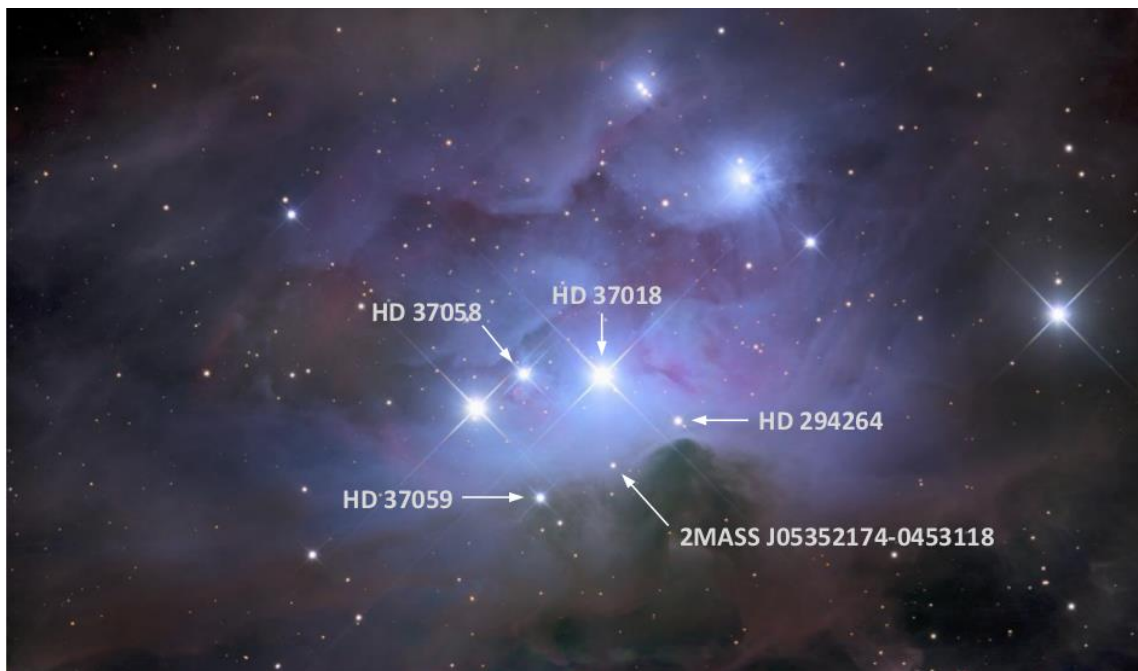
ตั้งค่าการถ่ายภาพ Flat Field ที่ 0.4, 0.5, 0.6 วินาที โดยเปิดหน้ากล้องรับแสงจากหลอดไฟด้านหน้ากล้อง เพื่อให้ได้ภาพที่มีแสงสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ

3.3 การถ่ายภาพสเปกตรัมหลอดทอเรียม-อาร์กอน

การถ่ายภาพสเปกตรัมหลอดเปรียบเทียบ คือการถ่ายภาพสเปกตรัมของหลอดบรรจุก๊าซ จะได้ภาพเส้นสเปกตรัมเปล่งแสงที่ความยาวคลื่นเฉพาะของธาตุนั้น เพื่อนำค่าความยาวคลื่นไปเปรียบเทียบกับสเปกตรัมดาวฤกษ์ในการสังเกตการณ์

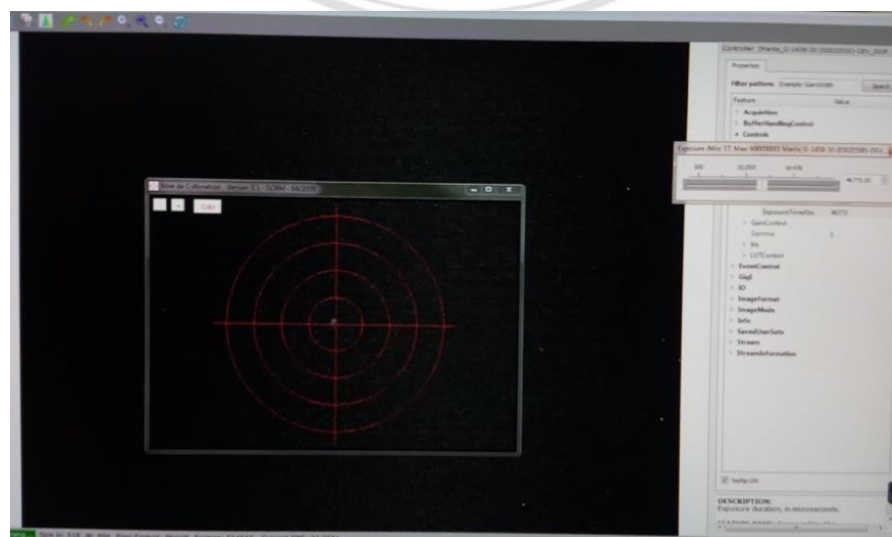
ตั้งค่าการถ่ายภาพหลอดทอเรียม-อาร์กอน ที่ 20 วินาที โดยหมุนกล้องรับแสงจากหลอดทอเรียม-อาร์กอน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับสเปกตรัมดาวฤกษ์

3.4 การถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์



ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 [28]

วิธีการเก็บข้อมูลประกอบด้วยภาพถ่ายสเปกตรัมดาวฤกษ์ 5 ดวง ใช้เวลาถ่ายภาพแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสว่างของดาวฤกษ์ ในตารางจะแสดงค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์ซึ่งแปรผกผันกับความสว่าง ถ้าดาวฤกษ์มีโชติมาตรมากขึ้นจะใช้เวลาถ่ายภาพนานขึ้น ตามลำดับ



ภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งดาวฤกษ์ผ่านสลิตในสเปกโตรกราฟ MRES

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่ง ชนิดสเปกตรัม โชติมาตร และเวลาถ่ายภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	ไรต์แอสเซนชัน (RA) (ชั่วโมง/นาที/วินาที)	เดคลิเนชัน (Dec) (องศา/ลิปดา/ฟิลิปดา)	ชนิดสเปกตรัม	โชติมาตร ฟิลเตอร์ V	เวลาถ่ายภาพ (วินาที)
HD 37018	05 35 23.1642700000	-04 50 18.088100000	B 1 V [15]	4.59	150
HD 37058	05 35 33.3541256703	-04 50 15.182308796	B 3/5 II [16]	7.30	300
HD 37059	05 35 31.1577392902	-04 54 15.177328974	B 8 V [16]	9.10	1,000
HD 294264	05 35 13.3450074822	-04 51 44.914591404	B 3 E [17]	9.77	1,200
2MASS J05352174-0453118	05 35 21.7499779203	-04 53 11.949894586	-	11.94	1,800

ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเกิน 90 % ในวันที่ 18 มกราคม 2562 ผู้ควบคุมการทำงานกล้องโทรทรรศน์ จำเป็นต้องปิดชุดเตอร์หอดูดาว เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับกล้องโทรทรรศน์และอุปกรณ์ จึงไม่มีข้อมูลการสังเกตการณ์ในวันที่ 18 มกราคม 2562



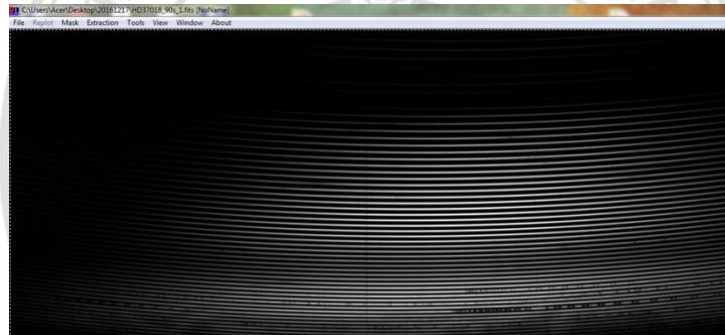
ภาพที่ 3.9 หน้าจอแสดงผลสภาพอากาศในช่วงเวลาสังเกตการณ์

บทที่ 4

วิเคราะห์ผล

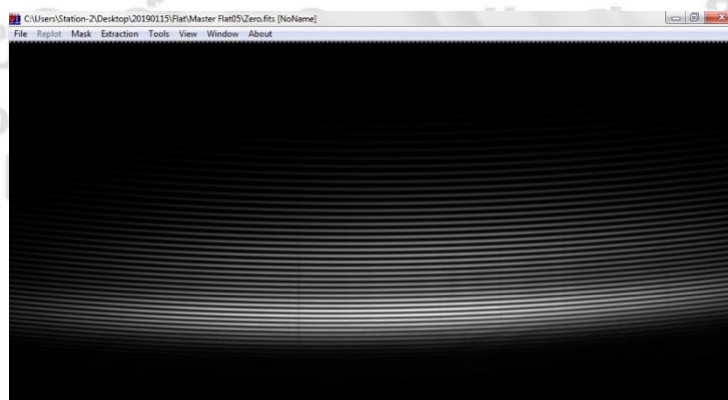
4.1 ผลจากการสังเกตการณ์

ภาพถ่ายสเปกตรัมดาวฤกษ์



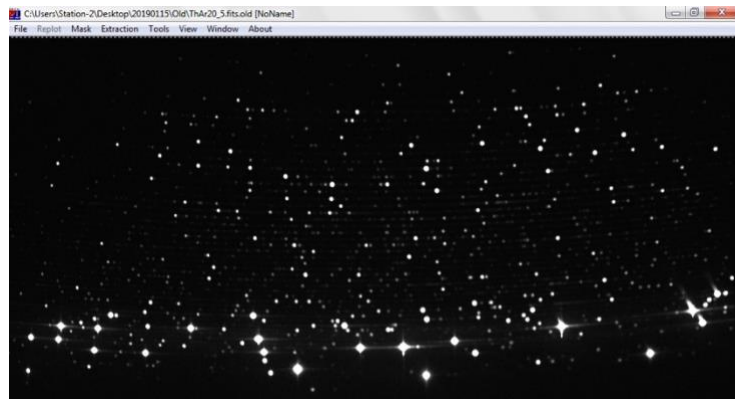
ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายสเปกตรัมดาว HD 37018

ภาพถ่ายสเปกตรัม Flat Field



ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายสเปกตรัม Flat Field

ภาพถ่ายสเปกตรัมหลอดก๊าซทอเรียมและอาร์กอน



ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายสเปกตรัมหลอดก๊าซทอเรียมและอาร์กอน

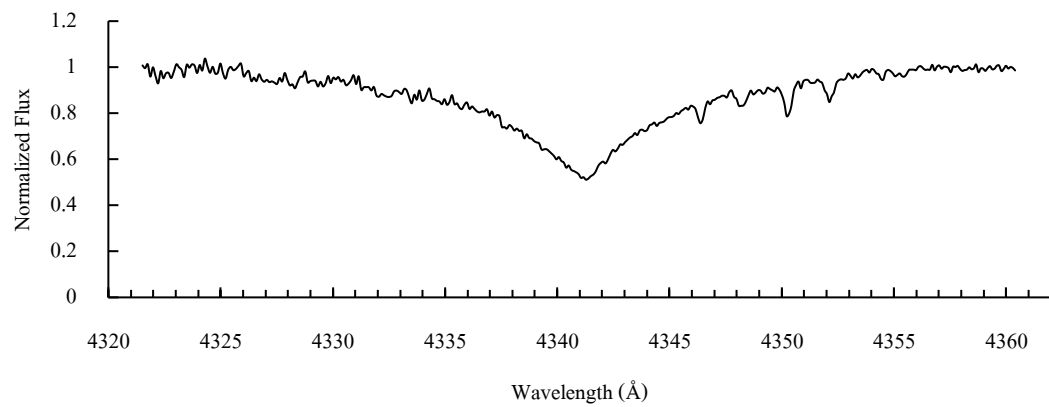
หลังจากได้ข้อมูลภาพถ่ายสเปกตรัมดาวครบแล้ว จะประมวลผลภาพผ่านโปรแกรม Total Commander เพื่อตัดกราฟสเปกตรัมและลบสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์ (Bias) และนำเข้าโปรแกรม DECH software package for spectra processing เพื่อทำ Alignment ชดสเปกตรัมทั้งหมด ลบความไม่สม่ำเสมอของภาพ (Flat Field) (ภาคผนวก ก) และเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวฤกษ์กับความยาวคลื่นของหลอดก๊าซทอเรียม-อาร์กอน (ภาคผนวก ข) จากนั้นนำไปหาความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ของสเปกตรัมดูคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปจากความยาวคลื่นหยุดนิ่งและความเร็วของโลกในทิศทางเดียวกันกับดาวฤกษ์

4.2 การหาความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์จากปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

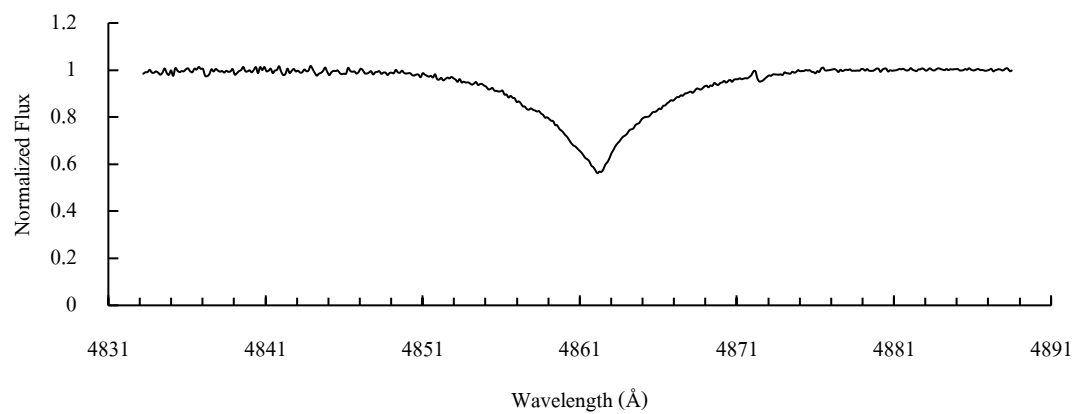
หลังจากการทำ Alignment และเปรียบเทียบความยาวคลื่นหลอดสเปกตรัมเรียบร้อยแล้ว (ภาคผนวก ก) บันทึกข้อมูลความยาวคลื่นไฮโดรเจนและฮีเลียมที่ถูกดูดกลืนในชั้นบรรยากาศดาวฤกษ์เป็นกราฟเชิงเส้นจากโปรแกรม DECH95 นำมาหาจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดของเส้นสเปกตรัม เนื่องจากธาตุในบรรยากาศดาวฤกษ์ชนิด บี ส่วนใหญ่เป็นไฮโดรเจนและฮีเลียม คาดว่าธาตุหนักอาจจะมาจากสสารระหว่างดาวฤกษ์จึงไม่ได้นำมาคำนวณความเร็วในแนวเส้น นำค่าความยาวคลื่นมาเปรียบเทียบอัตรา การเปลี่ยนแปลงจากจุดหยุดนิ่งจากฐานข้อมูลความยาวคลื่นของสเปกตรัมอะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียม [20, 21] ตามสมการที่ (2.1) จะได้ความเร็วในแนวเส้นของสเปกตรัมดาวฤกษ์ที่มีผลจากการเคลื่อนที่ของโลกในวงโคจรในทิศเดียวกัน ณ เวลาสังเกตการณ์

HD 37018

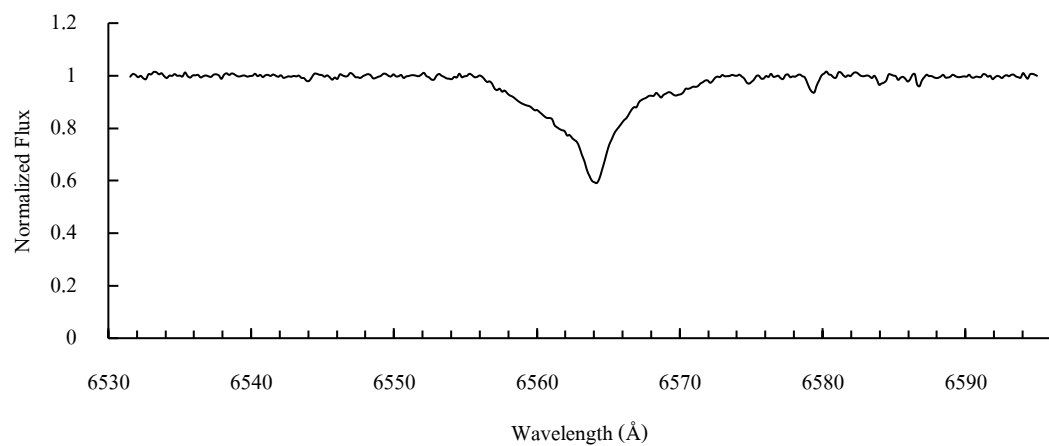
H_γ



H_β

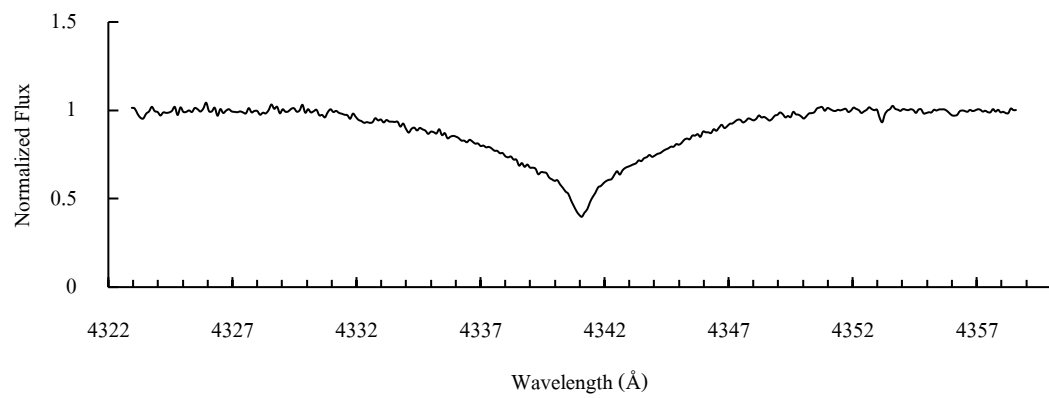


H_α

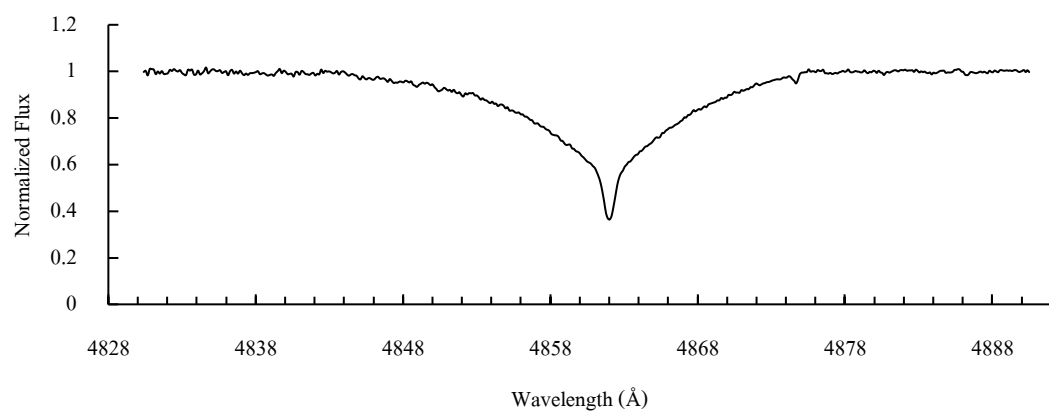


HD 37058

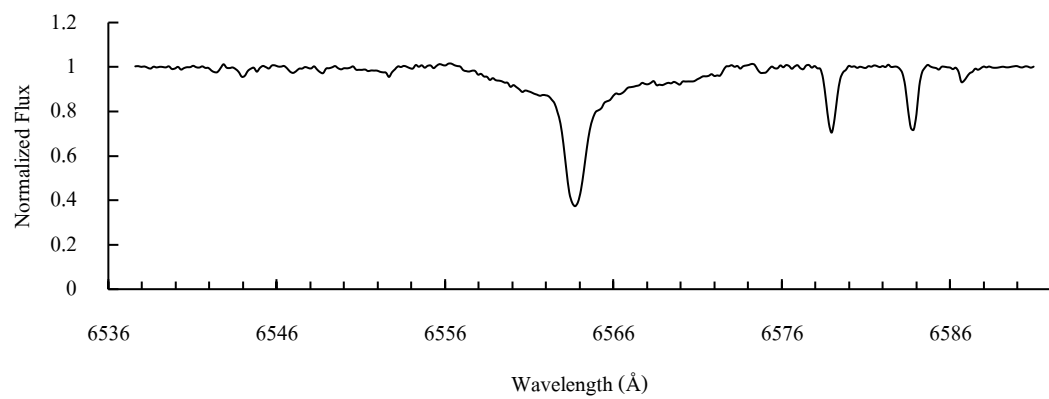
H_γ



H_β

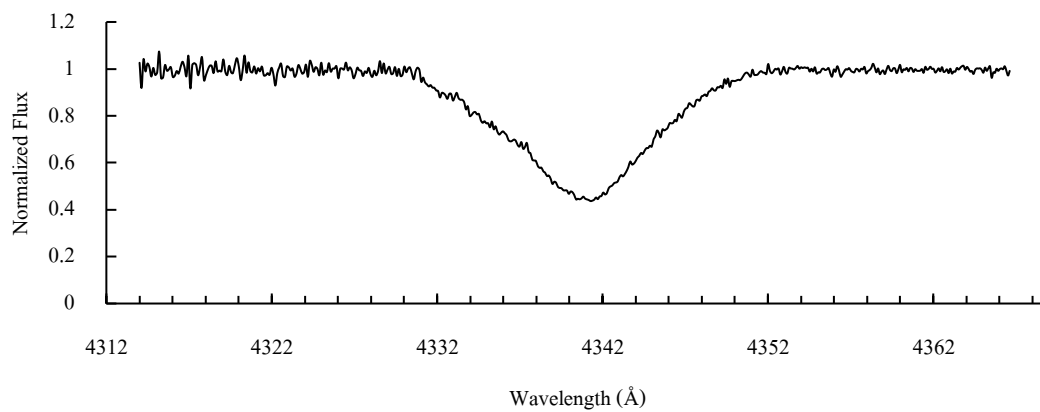


H_α

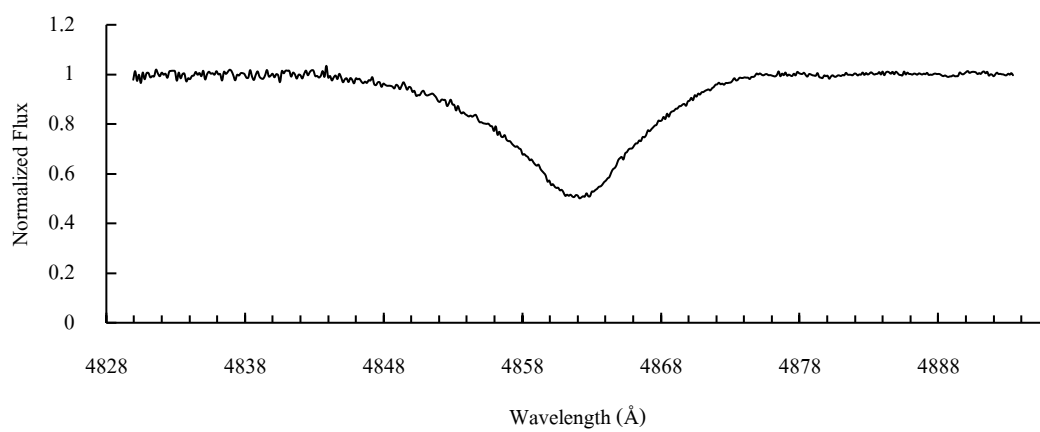


HD 37059

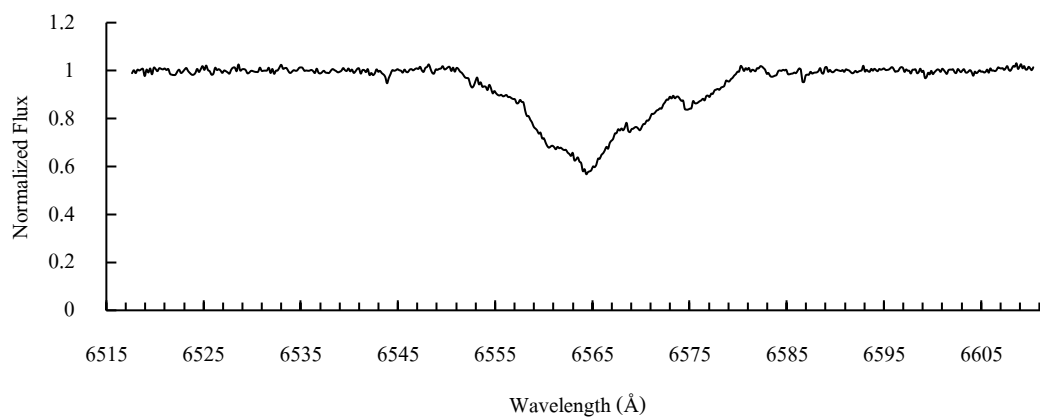
H_γ



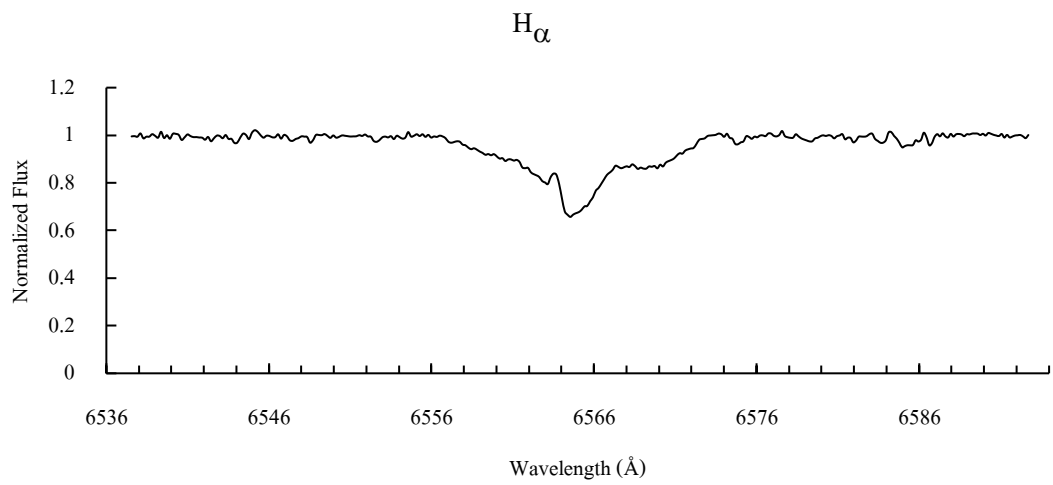
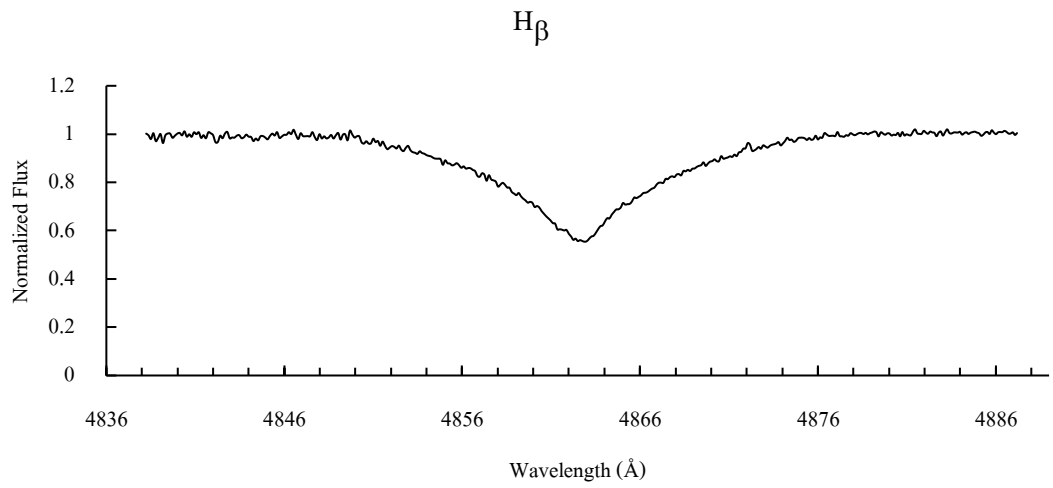
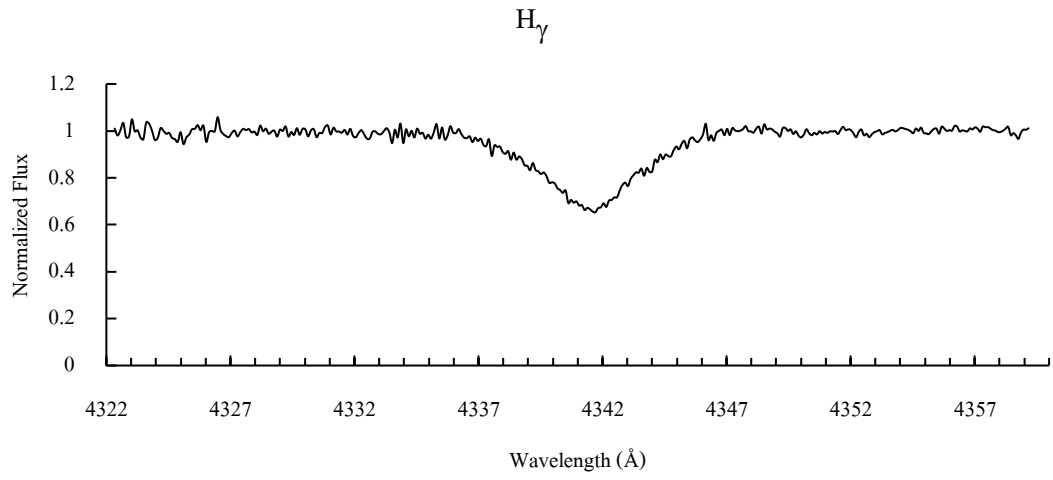
H_β



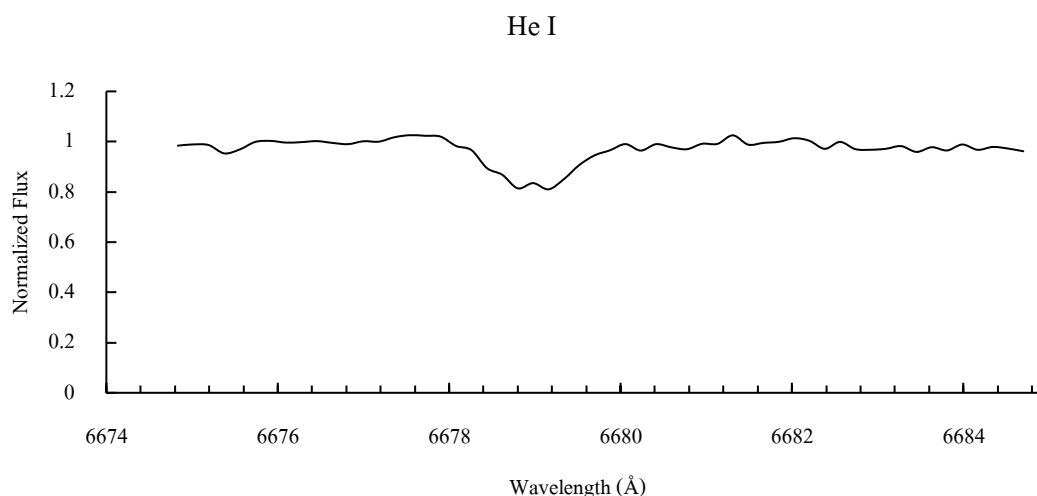
H_α



HD 294264



2MASS J05352174-0453118



ภาพที่ 4.4 ความยาวคลื่นไฮโดรเจนและฮีเลียมของดาวฤกษ์ในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

การคำนวณความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก (V_a) ณ เวลากึ่งกลางของช่วงเวลาดังเหตุการณ์ทั้งหมด เช่น ดาว HD37018 ใช้เวลาดังเหตุการณ์ ตั้งแต่ 12:00:00.0 UT ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 150 วินาที เวลาที่กลางจะเท่ากับ 12:00:00.0 UT + 75 วินาที จะได้ 12:01:15.0 UT เป็นต้น นำค่าเวลาที่กลางตำแหน่งหอดูดาวและตำแหน่งดาวฤกษ์กรอกลงในโปรแกรม DECH95 จะแสดงผลความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก (V_a) ในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที

Calculate Heliocentric and LSR Corrections

NoName

Middle of Exp. UT: 15 Day 12 H 1 Month 20 M 2019 Year 9 S

Star Coordinate RA 05 H 35 M 3.16427 S Dec ☒ negative 04 d 50 m 18.0881 s Epoch 2000.0

Var. Equation JD0 0 Period DoI 0 Phase

JD=2458499.01399306
HJD=2458499.01829047
LSR corr = -31.6413 km/s
Correction (Va)=-13.6656 km/s

Observatory coordinate TN0 98.486713 longitude 18.590447 latitude 2.457 altitude (km) c

SAD RAS (Russia)
Terskol (Russia)
Terskol (Russia)

Va= -13.6656 km/s Calc Help OK Cancel

ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างจากโปรแกรม DECH95 แสดงการคำนวณความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลก $V_a = -13.6656$ กิโลเมตรต่อวินาที

นำวันที่สังเกตการณ์ เวลาถึงกลางและตำแหน่งของดาวฤกษ์กรอกข้อมูลในเว็บไซต์ British Astronomical Association [22] เพื่อคำนวณวันจูเลียนศูนย์กลาง

The screenshot shows the 'Heliocentric Julian Date' calculation page. It features a calendar for selecting the date and time, a section for entering star coordinates (RA and Dec), and a table of calculated results for star HD37018. The table includes columns for Star, RA, Dec, JD, and HJD.

Star	RA	Dec	JD	HJD
HD37018	5h35m23.16s	-4°50'18.09"	2458499.013990556	2458499.0182534996

ภาพที่ 4.6 การคำนวณวันจูเลียนศูนย์กลาง [22]

ตารางที่ 4.1 การคำนวณความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลกจากจุดกึ่งกลางเวลาสังเกตการณ์

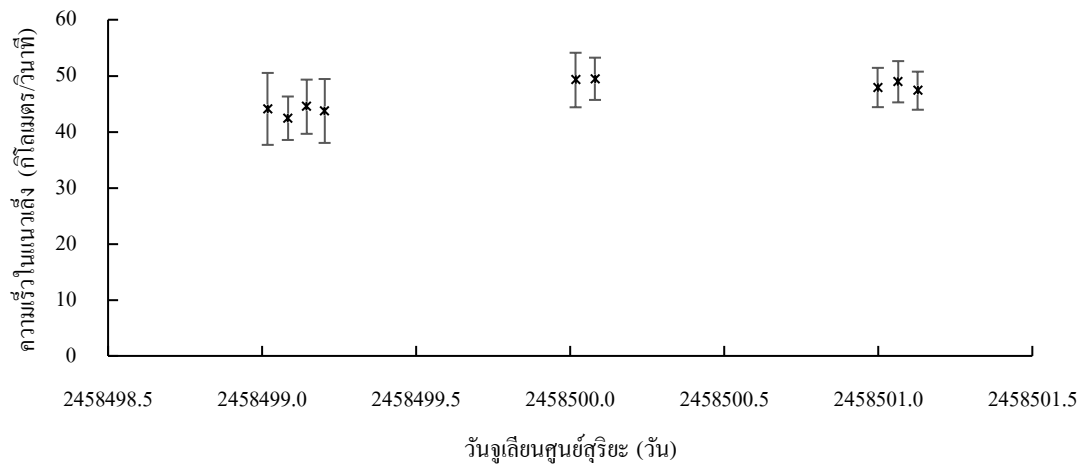
ชื่อดาวฤกษ์	วันจูเลียนสุริยะ (วัน)	เวลาเริ่มต้น (ชม./นาที/วินาที)	เวลาถึงกลาง (ชม./นาที/วินาที)	ความเร็วในแนวเส้น (V_r) (กิโลเมตร/วินาที)
HD 37018 (150 วินาที)	2458499.01825349	12:18:54.0 UT	12:20:09.0 UT	-13.6656
	2458499.08347036	13:52:49.0 UT	13:54:04.0 UT	-13.8403
	2458499.14453232	15:20:45.0 UT	15:22:00.0 UT	-14.0293
	2458499.20283978	16:44:43.0 UT	16:45:58.0 UT	-14.2102
	2458500.01751181	12:17:54.0 UT	12:19:09.0 UT	-14.0621
	2458500.08051805	13:48:38.0 UT	13:49:53.0 UT	-14.2311
	2458500.99869101	11:50:52.0 UT	11:52:07.0 UT	-14.4129
	2458501.06457897	13:25:45.0 UT	13:27:00.0 UT	-14.5795
	2458501.12845313	14:57:44.0 UT	14:58:59.0 UT	-14.7735
HD 37058 (300 วินาที)	2458499.02349846	12:25:12.0 UT	12:27:42.0 UT	-13.6585
	2458499.08780102	13:57:48.0 UT	14:00:18.0 UT	-13.8336
	2458499.14824959	15:24:51.0 UT	15:27:21.0 UT	-14.0215
	2458500.02246750	12:23:47.0 UT	12:26:17.0 UT	-14.0546
	2458500.08491821	13:53:43.0 UT	13:56:13.0 UT	-14.2249
	2458501.00454949	11:58:03.0 UT	12:00:33.0 UT	-14.4066
	2458501.06947685	13:31:33.0 UT	13:34:03.0 UT	-14.5744
	2458501.13315427	15:03:15.0 UT	15:05:45.0 UT	-14.7692

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

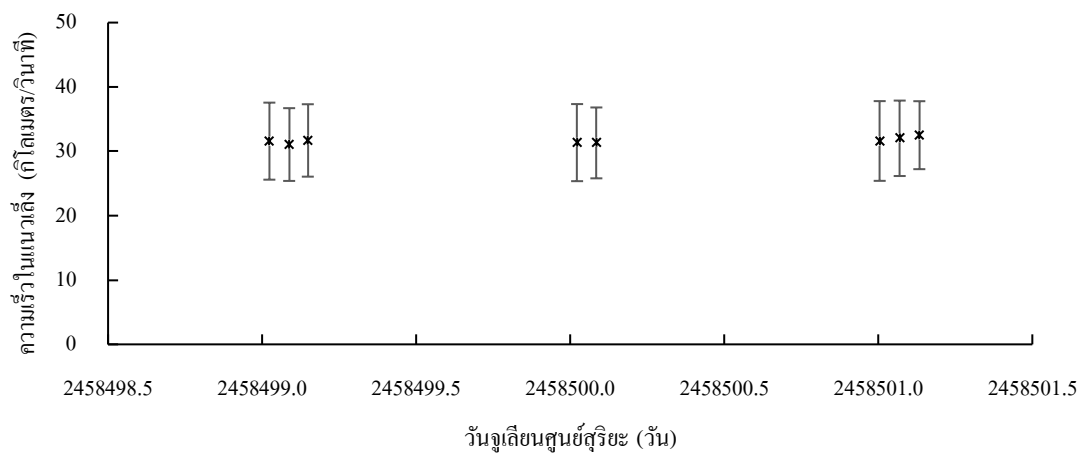
ชื่อดาวฤกษ์	วันจูเลียนสุริยะ (วัน)	เวลาเริ่มต้น (ชม./นาท./วินาที)	เวลากึ่งกลาง (ชม./นาท./วินาที)	ความเร็วในแนวเล็ง (V_r) (กม./วินาที)
HD 37059 (1,000 วินาที)	2458499.03361373	12:33:56.0 UT	12:42:16.0 UT	-13.6804
	2458499.09680523	14:04:56.0 UT	14:13:16.0 UT	-13.8577
	2458499.15698761	15:31:36.0 UT	15:39:56.0 UT	-14.0461
	2458500.03299940	12:33:07.0 UT	12:41:27.0 UT	-14.0774
	2458500.09482514	14:02:09.0 UT	14:10:29.0 UT	-14.2514
	2458501.01481518	12:07:00.0 UT	12:15:20.0 UT	-14.4265
	2458501.07959209	13:40:17.0 UT	13:48:37.0 UT	-14.6004
	2458501.14218160	15:10:25.0 UT	15:18:45.0 UT	-14.7940
HD 294264 (1,200 วินาที)	2458499.04817959	12:53:15.0 UT	13:03:15.0 UT	-13.7568
	2458499.11191503	14:25:02.0 UT	14:35:02.0 UT	-13.9430
	2458499.17139142	15:50:41.0 UT	16:00:41.0 UT	-14.1302
	2458500.04793548	12:52:58.0 UT	13:02:58.0 UT	-14.1549
	2458500.10878903	14:20:36.0 UT	14:30:36.0 UT	-14.3329
	2458501.03087375	12:28:28.0 UT	12:38:28.0 UT	-14.5040
	2458501.09436599	13:59:54.0 UT	14:09:54.0 UT	-14.6832
2MASS J05352174-0453118 (1,800 วินาที)	2458499.06865390	13:17:44.0 UT	13:32:44.0 UT	-13.7946
	2458499.13178753	14:48:39.0 UT	15:03:39.0 UT	-13.9865
	2458499.19016442	16:12:43.0 UT	16:27:43.0 UT	-14.1694
	2458500.06747237	13:16:06.0 UT	13:31:06.0 UT	-14.1905
	2458501.05083890	14:25:31.0 UT	14:40:31.0 UT	-14.7302
	2458501.11562738	12:52:13.0 UT	13:07:13.0 UT	-14.5381

นำความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์หักล้างกับความเร็วในแนวเล็งของผู้สังเกตบนโลก โดยใช้สมการที่ (2.1) จะได้ความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์สุทธิในแต่ละความยาวคลื่น นำมาหาค่าเฉลี่ย (รายละเอียดในภาคผนวก ข) และนำไปเขียนแผนภูมิระหว่างวันจูเลียนศูนย์สุริยะกับความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ ดังนี้

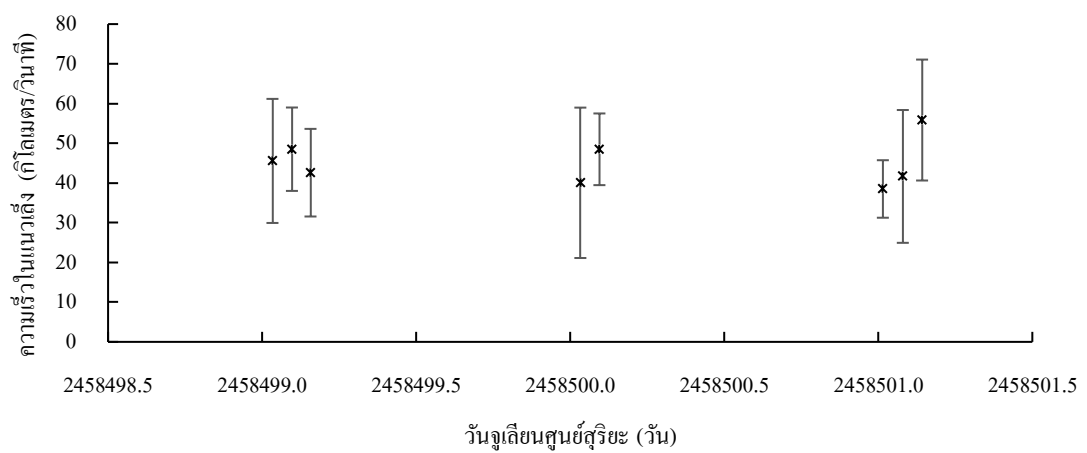
HD 37018

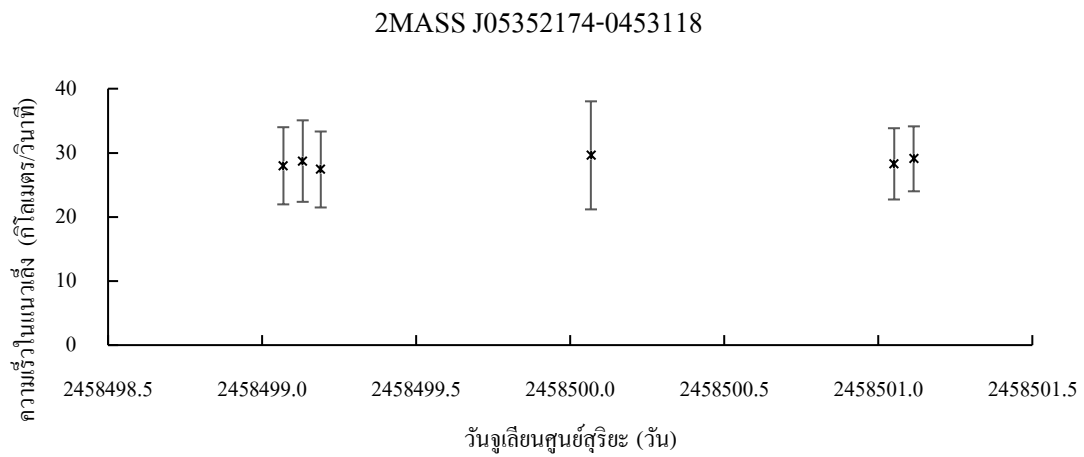
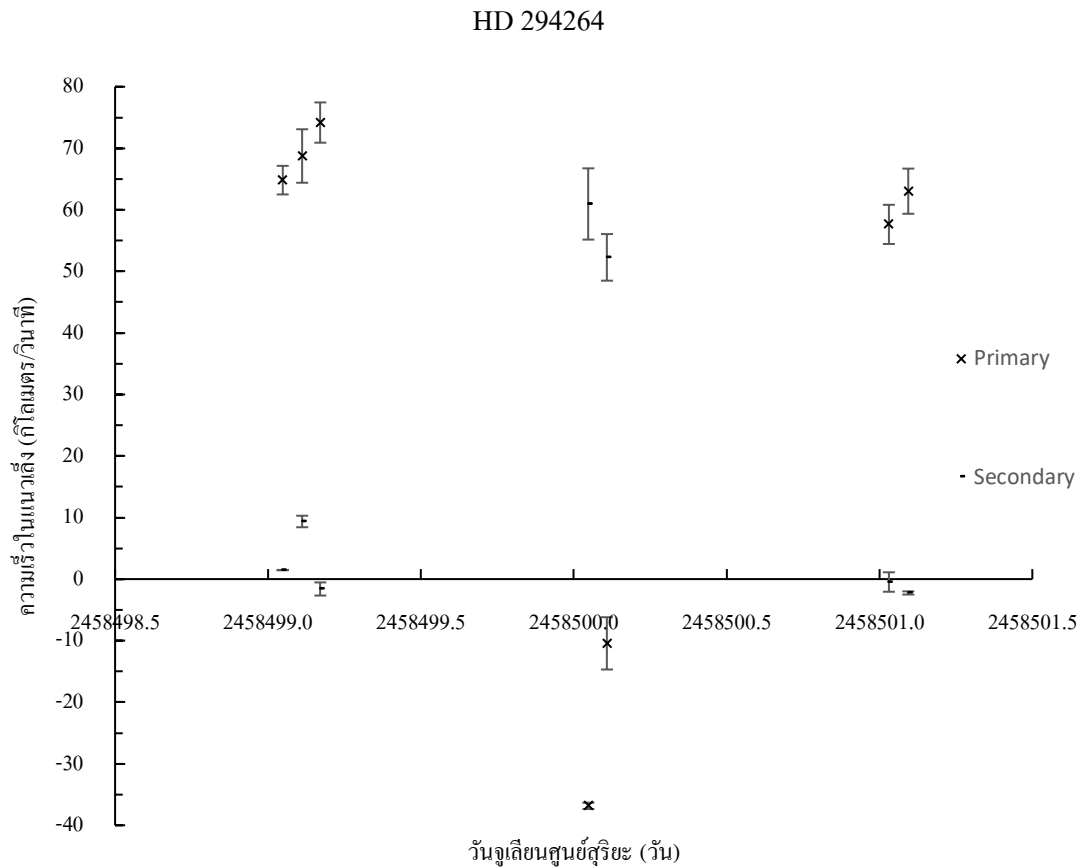


HD 37058



HD 37059





ภาพที่ 4.7 ความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

นำความเร็วในแนวเส้นของดาวฤกษ์ทุกช่วงเวลาสังเกตการณ์มาเฉลี่ยกัน จะได้ความเร็วในแนวเส้นเฉลี่ยของดาวฤกษ์

ตารางที่ 4.2 ความเร็วในแนวตั้งเฉลี่ยของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	ความเร็วในแนวตั้งเฉลี่ย (กิโลเมตร/วินาที)
HD 37018	$+46.3974 \pm 4.5636$
HD 37058	$+31.6369 \pm 5.7686$
HD 37059	$+45.1461 \pm 13.5969$
HD 294264 (ศูนย์กลางมวล)	$+30.6013 \pm 3.0390$
HD 294264 (ปฐมภูมิ)	$(-36.8488, +68.7472) \pm 3.3137$
HD 294264 (ทุติยภูมิ)	$(-2.2491, +60.9524) \pm 2.7369$
2MASS J05352174-0453118	$+28.5018 \pm 6.3155$

4.3 การหาความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์

ความเร็วในแนวขวางประกอบด้วยข้อมูลการเคลื่อนที่ในแนวขวางในพิกัดไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension) และเดคลิเนชัน (Declination) จากการสำรวจของดาวเทียมไกอา [14] ฮิปปาร์คอสและไทโค 2 [8] นำมาหาการเคลื่อนที่ในแนวขวาง ในสมการที่ (2.4) ร่วมกับการหาระยะทางจากวิธีพารัลแลกซ์ โดยใช้สมการที่ (2.3) คำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 การเคลื่อนที่ในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	การเคลื่อนที่ใน แนวขวาง (RA) (มิลลิฟิลิปดา/ปี)	การเคลื่อนที่ใน แนวขวาง (Dec) (มิลลิฟิลิปดา/ปี)	การเคลื่อนที่ใน แนวขวาง (มิลลิฟิลิปดา/ปี)	การเคลื่อนที่ใน แนวขวาง (เรเดียน/ปี)
HD 37018	4.52 ± 1.08 [8]	-7.11 ± 0.66 [8]	8.425 ± 0.804	$(4.085 \pm 0.389) \times 10^{-8}$
HD 37058	1.336 ± 0.153 [14]	0.809 ± 0.125 [14]	1.562 ± 0.146	$(7.572 \pm 0.708) \times 10^{-9}$
HD 37059	2.003 ± 0.103 [14]	0.746 ± 0.104 [14]	2.137 ± 0.103	$(1.036 \pm 0.499) \times 10^{-8}$
HD 294264	1.148 ± 0.070 [14]	-1.597 ± 0.064 [14]	1.967 ± 0.066	$(9.535 \pm 0.320) \times 10^{-9}$
2MASS J05352174-0453118	1.977 ± 0.064 [14]	0.807 ± 0.060 [14]	2.135 ± 0.063	$(1.035 \pm 0.307) \times 10^{-8}$

ตารางที่ 4.4 ระยะทางระหว่างดาวฤกษ์กับดวงอาทิตย์

ชื่อดาวฤกษ์	มุมพารัลแลกซ์ (มิลลิฟิลิปดา)	ระยะทาง (พาร์เซค)	ระยะทาง (ปีแสง)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
HD 37018	3.69 ± 1.20 [8]	271 ± 66	883 ± 217	$(8.36 \pm 2.05) \times 10^{15}$
HD 37058	2.1669 ± 0.1026 [14]	461.49 ± 20.86	1504 ± 68	$(1.4233 \pm 0.6435) \times 10^{16}$
HD 37059	2.6004 ± 0.0598 [14]	384.56 ± 8.64	1253 ± 28	$(1.1860 \pm 0.2666) \times 10^{16}$
HD 294264	2.2206 ± 0.0441 [14]	450.33 ± 8.77	1477 ± 28	$(1.3889 \pm 0.2705) \times 10^{16}$
2MASS J05352174-0453118	2.5044 ± 0.0376 [14]	399.29 ± 5.91	1301 ± 19	$(1.2315 \pm 0.1822) \times 10^{16}$

นำการเคลื่อนที่ในแนวขวางในตารางที่ 4.3 และระยะทางในตารางที่ 4.4 แทนค่าในสมการที่ (2.5) จะได้ระยะทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ในหนึ่งปี จากนั้นสามารถหาความเร็วในแนวขวางได้จากสมการที่ (2.6) ดังนี้

ตารางที่ 4.5 ความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	ระยะทางในหนึ่งปี (กิโลเมตร)	ความเร็วในแนวขวาง (กิโลเมตร/วินาที)
HD 37018	$(3.414 \pm 0.899) \times 10^8$	10.82 ± 2.84
HD 37058	$(1.078 \pm 0.112) \times 10^8$	3.415 ± 0.355
HD 37059	$(1.229 \pm 0.065) \times 10^8$	3.894 ± 0.207
HD 294264	$(1.324 \pm 0.051) \times 10^8$	4.197 ± 0.163
2MASS J05352174-0453118	$(1.275 \pm 0.042) \times 10^8$	4.039 ± 0.134

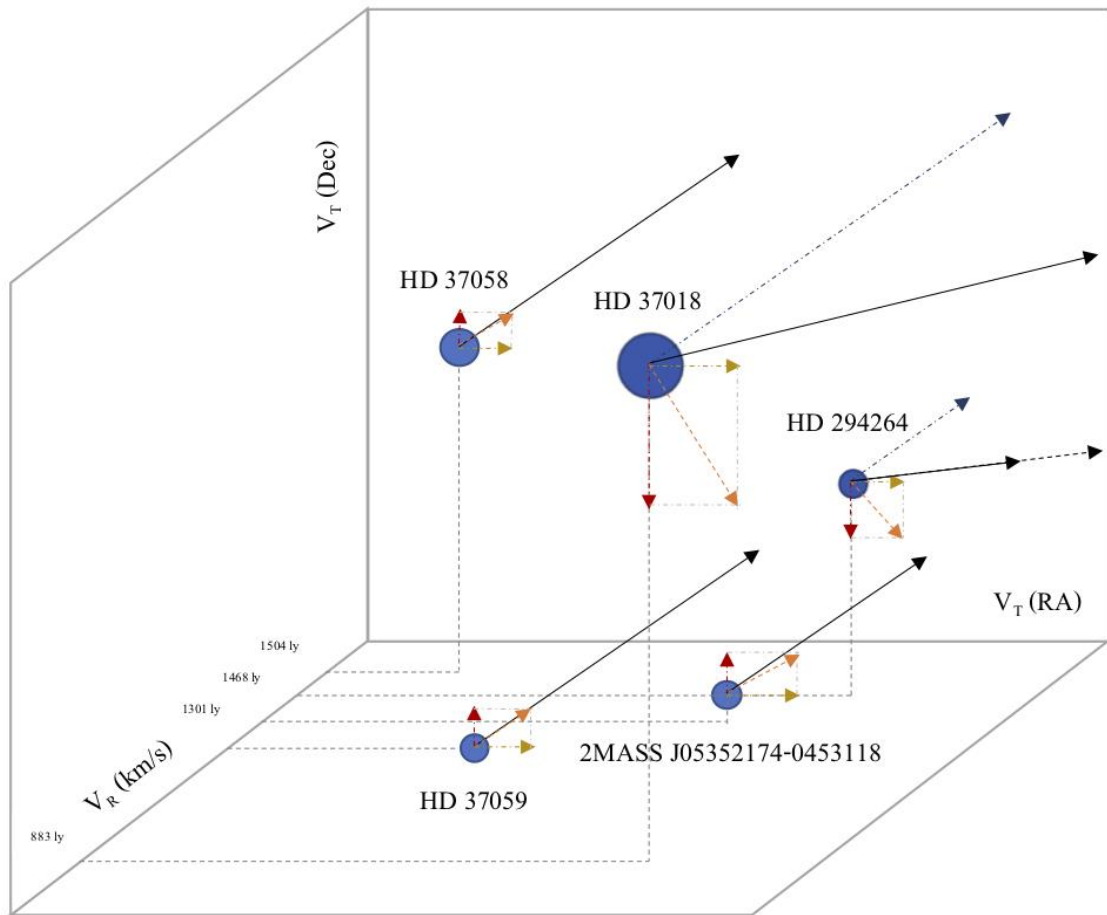
4.4 การหาความเร็วรวมของดาวฤกษ์

เมื่อได้ความเร็วในแนวตั้งของดาวฤกษ์จากการสังเกตการณ์และความเร็วในแนวขวางที่หาได้จากค่าพารัลแลกซ์ และการเคลื่อนที่ในแนวขวาง จากฐานข้อมูล ADS (Astrophysics Data System) [Brown, et al. 2018] จากนั้นใช้สมการที่ (2.7) จะได้ค่าความเร็วรวมของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ตารางที่ 4.6 ความเร็วรวมของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ชื่อดาวฤกษ์	ความเร็วในแนวขวาง (กิโลเมตร/วินาที)	ความเร็วในแนวตั้งเฉลี่ย (กิโลเมตร/วินาที)	ความเร็วรวม (กิโลเมตร/วินาที)
HD 37018	10.82 ± 2.84	$+46.3974 \pm 4.5636$	47.64 ± 4.49
HD 37058	3.415 ± 0.355	$+31.6369 \pm 5.7686$	31.82 ± 5.74
HD 37059	3.894 ± 0.207	$+45.1461 \pm 13.5969$	45.31 ± 13.55
HD 294264	4.197 ± 0.163	$+30.6013 \pm 3.0390$	30.89 ± 3.01
2MASS J05352174-0453118	4.039 ± 0.134	$+28.5018 \pm 6.3155$	28.79 ± 6.25

จากนั้นนำผลที่ได้มาสร้างแผนภาพทิศทางการเคลื่อนที่ โดยมีระยะทาง ความเร็วในแนวตั้งและความเร็วในแนวขวางของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977



ภาพที่ 4.8 แสดงความเร็วในแนวเล็ง(สีฟ้า) ความเร็วในแนวขวาง(สีส้ม) และความเร็วรวม(สีดำ) ของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 5

สรุป

จากการสังเกตการณ์ความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 ผลปรากฏว่าเส้นสเปกตรัมดาวฤกษ์มีผลจากสเปกตรัมเนบิวลาทางด้านซ้ายของเส้นสเปกตรัมดูดกลืนที่ความยาวคลื่นไฮโดรเจนแอลฟา ($H\alpha$) ที่มีลักษณะลาดเอียงลงมาจากสเปกตรัมต่อเนื่อง ดาว HD 37018 เป็นดาวที่อยู่ด้านหน้าเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 มีค่าความเร็วในแนวเล็งเฉลี่ย $+46.3974 \pm 4.5636$ กิโลเมตรต่อวินาที ดาว HD 37059 เป็นดาวที่อยู่ในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 มีความเร็วในแนวเล็งเฉลี่ย $+45.1461 \pm 13.5969$ กิโลเมตรต่อวินาที ในส่วนของดาว HD 294264 พบสเปกตรัมเส้นสเปกตรัมดูดกลืนสองเส้นซ้อนกันในความยาวคลื่นไฮโดรเจน (Double line spectroscopic binary, SB II) มีคาบการโคจรประมาณ 2 วัน โดยที่ดาวปฐมภูมิมีความเร็วในแนวเล็ง $(-36.8488, +68.7472) \pm 3.3137$ กิโลเมตรต่อวินาที ดาวทุติยภูมิมีความเร็วในแนวเล็ง $(-2.2491, +60.9524) \pm 2.7369$ กิโลเมตรต่อวินาที และจุดศูนย์กลางมวลของระบบมีความเร็วในแนวเล็ง $+30.6013 \pm 3.0390$ กิโลเมตรต่อวินาที ดาว HD 37058 เป็นดาวที่อยู่ด้านหลังเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 มีความเร็วในแนวเล็งเฉลี่ย $+31.6369 \pm 5.7686$ กิโลเมตรต่อวินาที และดาว 2MASS J05352174-0453118 เป็นดาวที่อยู่ในเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 มีความเร็วในแนวเล็งเฉลี่ย $+28.5018 \pm 6.3155$ กิโลเมตรต่อวินาที

ดาว HD 37018 เป็นศูนย์กลางของแอสโซซิเอชันโอปี 1 ดี ที่ไม่มีลักษณะการโคจรที่ใกล้เคียงกับระบบดาวคู่ เนื่องจากมีความเร็วเปลี่ยนแปลงอย่างรู้รูปแบบซึ่งแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเทียบกับดาวคู่สเปกตรัม [Morrell & Levato, 1991] และสอดคล้องกับงานวิจัยในปี ค.ศ. 2016 [Kim et al., 2016] ที่แสดงภาพถ่ายจริงของดาว HD 37018 และดาวข้างเคียงอีก 7 ดวง เป็น Proplyds Star ที่มีก๊าซพุ่งออกมาจากตัวเองในทิศทางตรงกันข้ามกับดาว HD 37018 อาจส่งผลให้ความเร็วและการเคลื่อนที่ของดาว HD 37018 ไม่คงที่ ในกรณีดาว HD 37059 มีความเร็วในแนวเล็งที่แตกต่างกันมากในแต่ละความยาวคลื่น และมีสเปกตรัมเส้นคู่ที่ความยาวคลื่นไฮโดรเจนแอลฟา ($H\alpha$) แต่ไม่สามารถหาคาบการโคจรได้

สรุปผลที่สังเกตการณ์ได้ว่าดาวฤกษ์สว่างทั้งห้าดวงในพื้นที่การเห็นเนบิวลาเอ็นจีซี 1977 กำลังเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตด้วยความเร็วและทิศทางที่แตกต่างกัน



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

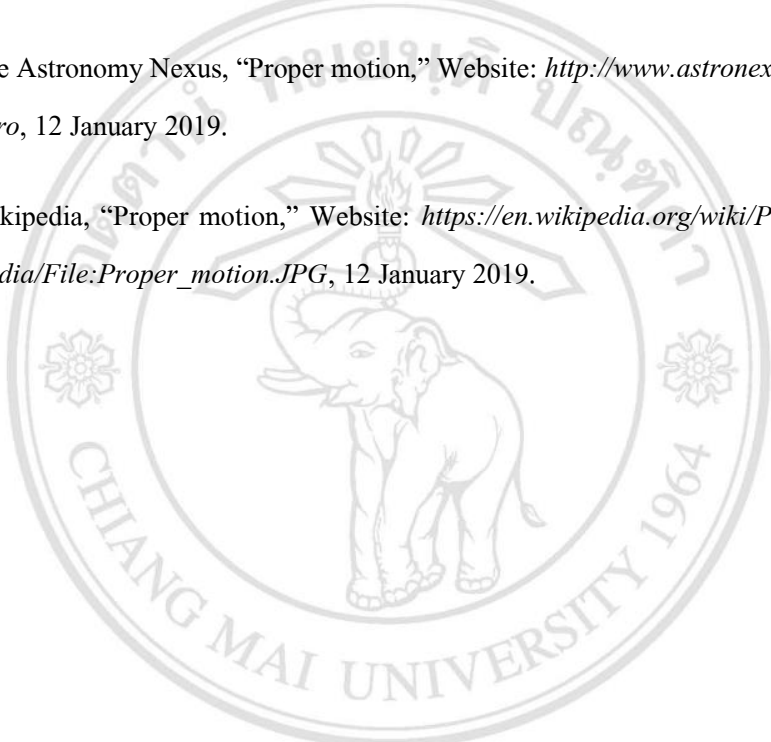
บรรณานุกรม

- [1] Brown, A. G. A., Blaauw, A., Hoogerwerf, R., Bruijne, J. H. J. D. and de Zeeuw, P. T., "OB Associations," The Astronomical Journal, Vol. 117(1), 1999.
- [2] Wilson, R. E., "General Catalogue of Stellar Radial Velocities," Washington D.C.: Carnegie Inst. Publ., Vol. 601, 1953.
- [3] Abt, H. A., "Catalog of individual radial velocities, 0h-12h, measured by astronomers of the Mount Wilson Observatory," Astrophysical Journal Supplement, Vol. 19, 1970, pp. 387.
- [4] Conti, P. S., "Zeeman Measures of Sharp-Lined Early B Stars," Astrophysical Journal, Vol. 159, 1970, pp. 723.
- [5] Morrell, N. and Levato, H., "Spectroscopic binaries in the Orion OB1 association," Astrophysical Journal Supplement Series, Vol. 75, 1991, pp. 965, ISSN: 0067-0049
- [6] Gontcharov, G. A., "Pulkovo Compilation of Radial Velocities for 35 495 Hipparcos stars in a common system," Astronomy Letters, Vol. 32, 2006, pp. 759.
- [7] Kharchenko, N. V., Scholz, R. -D., Piskunov, A. E., Roeser, S. and Schilbach, E., "Astrophysical supplements to the ASCC-2.5: Ia. Radial velocities of ~55000 stars and mean radial velocities of 516 Galactic open clusters and associations," Astronomische Nachrichten, Vol. 328, 2007, pp. 889.
- [8] van Leeuwen, F., "Validation of the new Hipparcos reduction," Astronomy and Astrophysics, Vol. 474, 2007, pp. 653-664.

- [9] Tobin, J. J., Hartmann, L., Furesz, G., Mateo, M. and Megeath, S. T., “Kinematics of the Orion Nebula Cluster: Velocity Substructure and Spectroscopic Binaries,” *The Astrophysical Journal*, Vol. 697, 2009, pp. 1103-1118.
- [10] Zacharias, N., Finch, C. T., Girard, T. M., Henden, A., Bartlett, J. L., Monet, D. G. and Zacharias, M. I., “The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4),” *The Astronomical Journal*, Vol. 145, 2013, pp. 44.
- [11] Cottaar, M., Covey, K. R., Foster, J. B., Meyer, M. R., Tan, J. C., Nidever, D. L., Drew, C. S., da Rio, N., Flaherty, K. M., Frinchaboy, P. M., Majewski, S., Skrutskie, M. F., Wilson, J. C. and Zasowski, G., “IN-SYNC. III. The dynamical state of IC 348 - a super-virial velocity dispersion and a puzzling sign of convergence,” *The Astronomical Journal*, Vol. 807, 2015.
- [12] Kim, J. S., Clarke, C. J., Fang, M. and Facchini, S., “Proplyds Around a B1 Star: 42 Orionis in NGC 1977,” *The Astrophysical Journal Letters*, Vol. 826, 2016, pp. 15.
- [13] Patwong, W., Komonjinda, S. and A-Thano, N., “Radial velocity observations of OB1d association in NGC 1977,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 901, 2017, ISSN: 17426588.
- [14] Brown, A. G. A., Vallenari, A., Prusti, T., et al. “Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties,” *Astronomy & Astrophysics*, Vol. 616, 2018.
- [15] Hoffleit, D. and Warren, W. H., “VizieR Online Data Catalog: Bright Star Catalogue, 5th Revised Ed. (Hoffleit+, 1991),” *VizieR On-line Data Catalog: V/50*, 1995.
- [16] Houk, N. and Swift, C., “Michigan catalogue of two-dimensional spectral types for the HD Stars,” *Michigan Spectral Survey*, Ann Arbor, Dep. Astron., Univ. Michigan, Vol. 5, 1999.

- [17] Nesterov, V. V., Kuzmin, A. V., Ashimbaeva, N. T., Volchkov, A. A., Roeser, S. and Bastian, U., “The Henry Draper Extension Charts: A catalogue of accurate positions, proper motions, magnitudes and spectral types of 86933 stars,” *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, 110, 1995, pp. 367-370.
- [18] Walker, R., *Spectral Atlas for Amateur Astronomers: A Guide to the Spectra of Astronomical Objects and Terrestrial Light Sources*, Cambridge University Press, 2018, p. 21-22.
- [19] Isaac Newton group of telescope, “Stars altitude,” Website: <http://catserver.ing.iac.es/staralt/index.php>, 14 January 2019.
- [20] National Institute of Standards and Technology, “Hydrogen spectrum,” Website: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/hydrogentable2.htm>, 19 January 2019.
- [21] National Institute of Standards and Technology, “Helium spectrum,” Website: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Handbook/Tables/heliumtable2.htm>, 19 January 2019.
- [22] British Astronomical Association, “Computing HJD,” Website: http://britastro.org/computing/applets_dt.html, 19 January 2019.
- [23] National Astronomical Research Institute of Thailand, “2.4 m telescope,” Website: <http://www.narit.or.th/index.php/telescope/2-4-m-telescope>, 14 January 2019.
- [24] National Astronomical Research Institute of Thailand, MRES, Website: <http://www.narit.or.th/index.php/scientific-instruments/mres>, 14 January 2019.
- [25] European South Observatory, “The Hyades,” Website: https://www.eso.org/public/outreach/eduoff/cas/cas2002/cas-projects/bulgaria_hyades_1/, 12 January 2019
- [26] Peterson, E. D. and Megeath, T. S., “The Orion Molecular Cloud 2/3 and NGC 1977 Regions,” *Handbook of Star Forming Regions*, Astronomical Society of the Pacific, Bo Reipurth, ed., Vol. 1, 2008.

- [27] Blain, M., “Running man nebula,” Website: <http://www.calvin.edu/academic/phys/observatory/images/Astr211.Spring2018/Blain.html>, 12 January 2019.
- [28] Pugh, M., “Reflections on the 1970s,” Website: <https://apod.nasa.gov/apod/ap071220.html>, 12 January 2019.
- [29] Lumen Astronomy, “Measuring stellar masses, Binary stars,” Website: <https://courses.lumenlearning.com/astronomy/chapter/measuring-stellar-masses/>, 12 January 2019.
- [30] The Astronomy Nexus, “Proper motion,” Website: <http://www.astronexus.com/a-a/intro>, 12 January 2019.
- [31] Wikipedia, “Proper motion,” Website: https://en.wikipedia.org/wiki/Proper_motion#/media/File:Proper_motion.JPG, 12 January 2019.

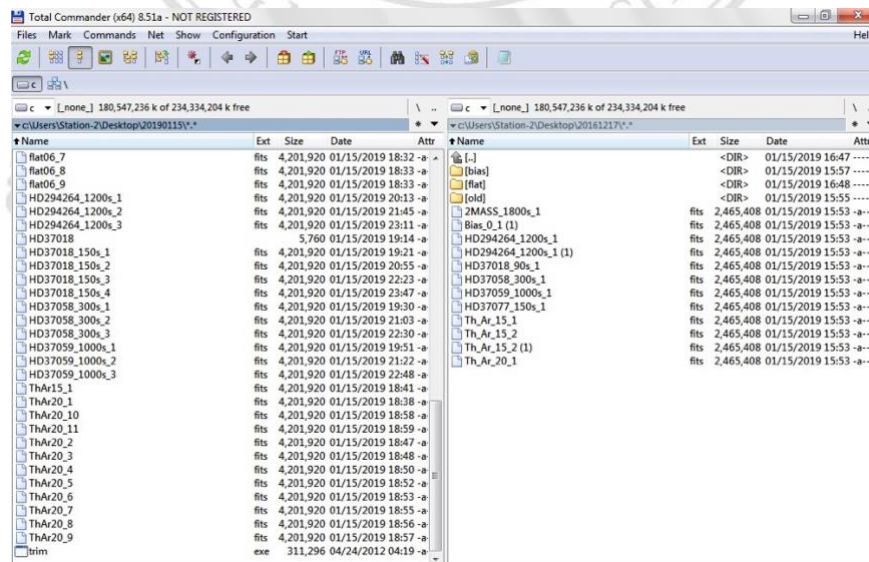


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

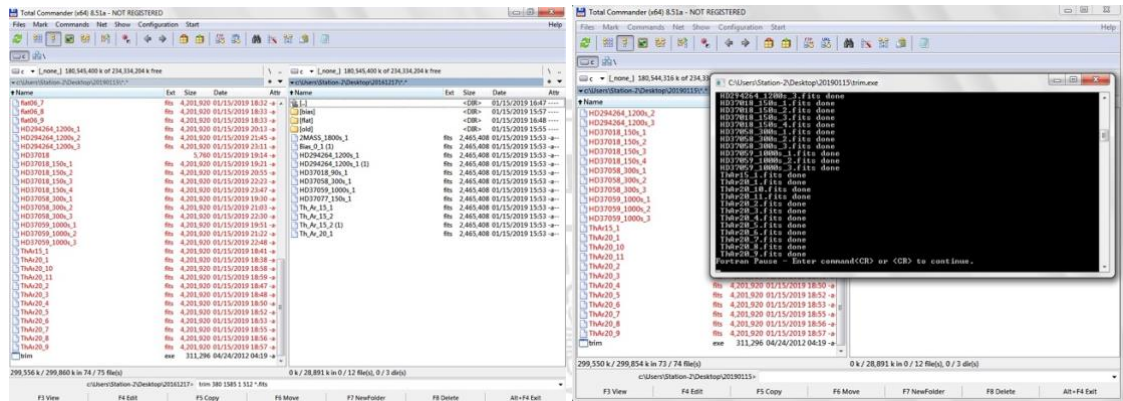
วิธีประมวลผลสเปกตรัมดาวฤกษ์

1. ติดตั้งโปรแกรม DECH95 และ Total Commander สำหรับคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows
2. เริ่มต้นจากการตั้งค่าที่อยู่ของข้อมูลภาพที่มีสกุล fits ในคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการ Windows โดยไปที่ Control panel > System > Advance system setting > Environment Variables > Path > edit > ใส่ที่อยู่ของโปรแกรม DECH
3. การตัดกราฟสเปกตรัม
- 3.1 นำไฟล์ trim.exe จากโปรแกรม DECH ไปวางในแฟ้มทำงานในวันที่สังเกตการณ์ [yyyymmdd]



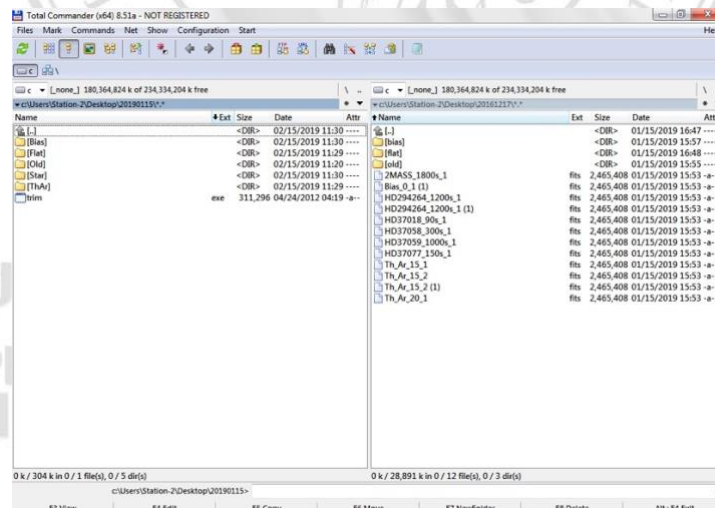
ภาพที่ ก.1 การวางไฟล์ trim ในแฟ้มทำงาน

3.2 เปิดโปรแกรม Total Commander เปิดแฟ้มสเปกตรัมในวันที่สังเกตการณ์ [yyyymmdd] และเขียนคำสั่ง trim 380 1585 1 512 *.fits กด enter ไฟล์สกุล fits และ old จะปรากฏในแฟ้มทำงาน (trim x1 x2 y1 y2 *.fits โดย x1 คือ พิกเซลแรกในแกน x, x2 คือ พิกเซลสุดท้ายในแกน x, y1 คือ พิกเซลแรกในแกน y, y2 คือ พิกเซลสุดท้ายในแกน y)



ภาพที่ ก.2 เขียนคำสั่ง trim เพื่อตัดกราฟ

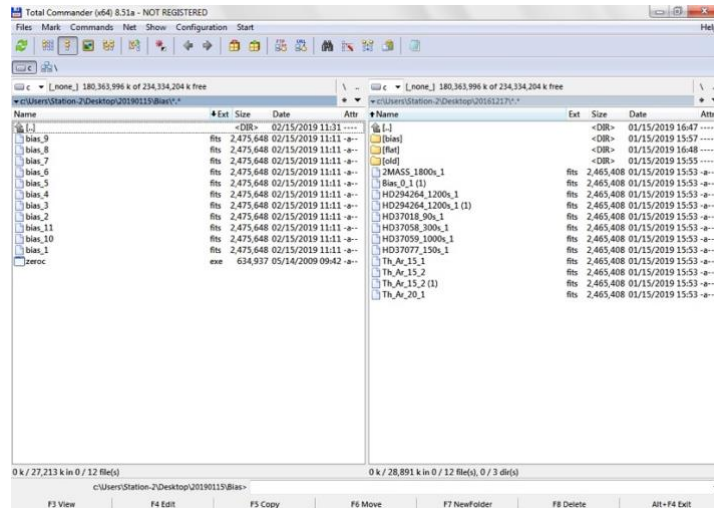
3.3 สร้างแฟ้มเอกสารในชื่อ Bias, Flat, Star, ThAr, Old และนำไฟล์ใส่ในแฟ้มตามชื่อที่ระบุไว้



ภาพที่ ก.3 การจัดแฟ้มแยกประเภทไฟล์

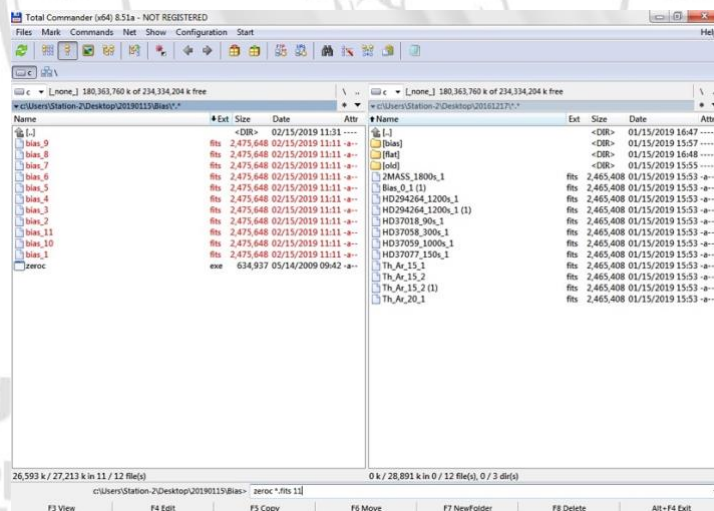
4. การเคลื่อนย้ายสัญญาณรบกวนภายในอุปกรณ์ (Bias)

4.1 นำไฟล์ zeroc.exe จากโปรแกรม DECH ไปวางในแฟ้ม Bias



ภาพที่ ก.4 การวางไฟล์ zeroc.exe ในแฟ้ม Bias

4.2 เขียนคำสั่ง `zeroc *.fits 11` กด enter จะได้ไฟล์ชื่อ Zero (`zeroc *.fits x` โดย `x` คือ จำนวนไฟล์ทั้งหมดที่นำมาหาค่าเฉลี่ย)



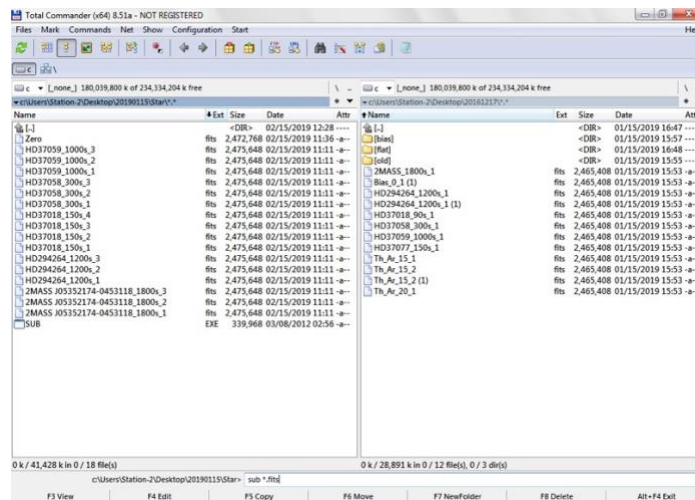
ภาพที่ ก.5 เขียนคำสั่ง zeroc เพื่อหาค่าเฉลี่ย

5. การลบสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์

5.1 นำไฟล์ Zero ไปวางในแฟ้ม Flat, Star และ ThAr

5.2 นำไฟล์ SUB.exe จากโปรแกรม DECH ไปวางในแฟ้ม Flat, Star และ ThAr เพื่อเตรียมลบสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์

5.3 เขียนคำสั่ง sub *.fits กด enter จะได้ไฟล์ภาพที่มี sub ต่อท้ายชื่อ



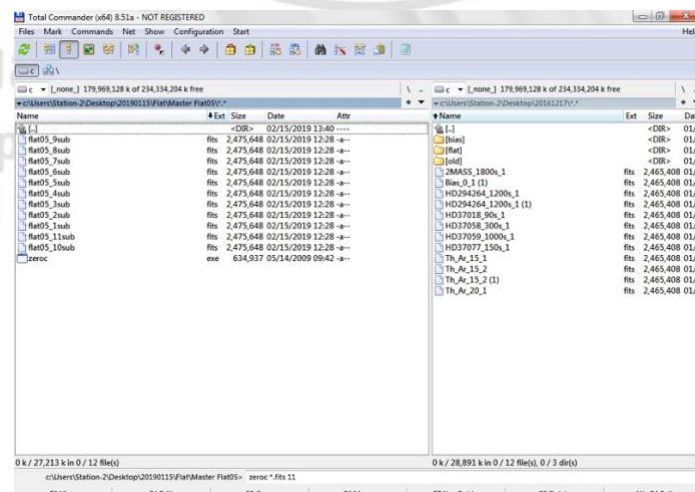
ภาพที่ ก.6 เขียนคำสั่ง sub เพื่อลบสัญญาณรบกวนในอุปกรณ์

6. การเฉลี่ยความไม่สม่ำเสมอของแสง (Flat Field)

6.1 สร้างแฟ้ม Master Flat และนำไฟล์ Flat_sub.fits ใส่ในแฟ้ม Master Flat

6.2 นำไฟล์ zeroc.exe ใส่ในแฟ้ม Master Flat

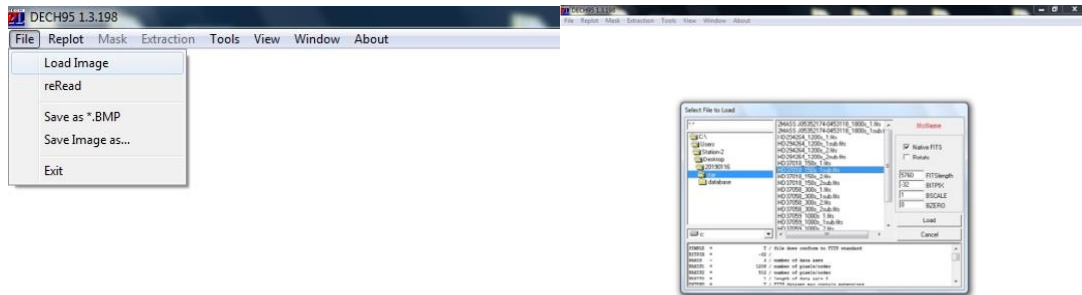
6.3 เขียนคำสั่ง zeroc *.fits 11 กด enter จะได้ไฟล์ชื่อ Zero คือค่าเฉลี่ยของ Flat Field ที่ลบสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ ก.7 เขียนคำสั่ง zeroc เพื่อเฉลี่ย Flat Field

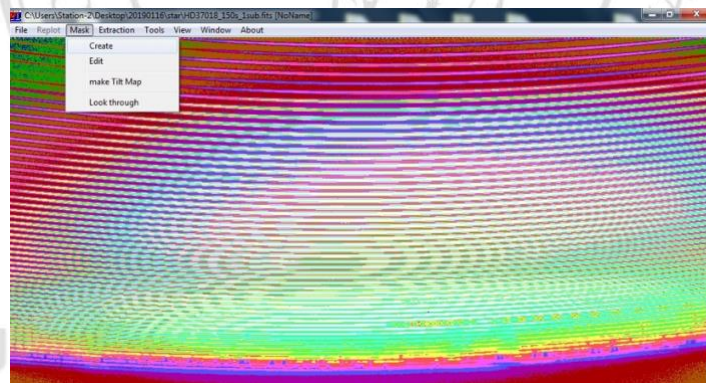
7. การสร้างต้นฉบับ Alignment ตำแหน่งสเปกตรัม

7.1 เปิดโปรแกรม DECH95 2D image processing ไปที่เมนู File > Load Image เลือกไฟล์ Star_sub.fits เพื่อสร้าง Mark ตำแหน่งกลางออร์เคอรัลสเปกตรัม



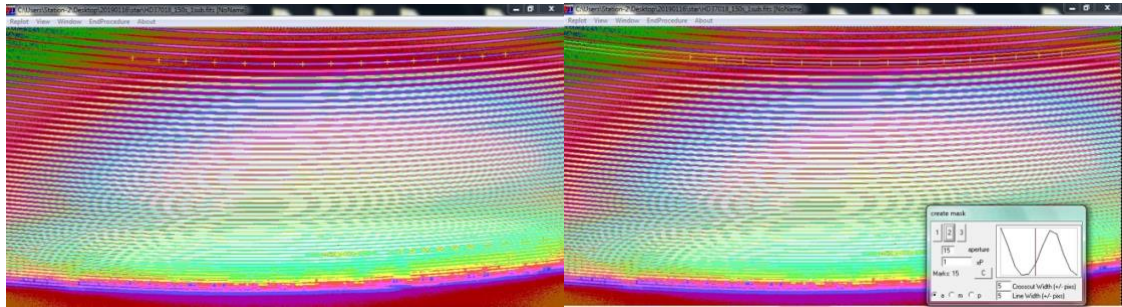
ภาพที่ ก.8 การเลือกไฟล์มาทำ Alignment สเปกตรัม

7.2 เลือกเมนู Mark > Create จะปรากฏหน้าต่าง create mask ขึ้นมา



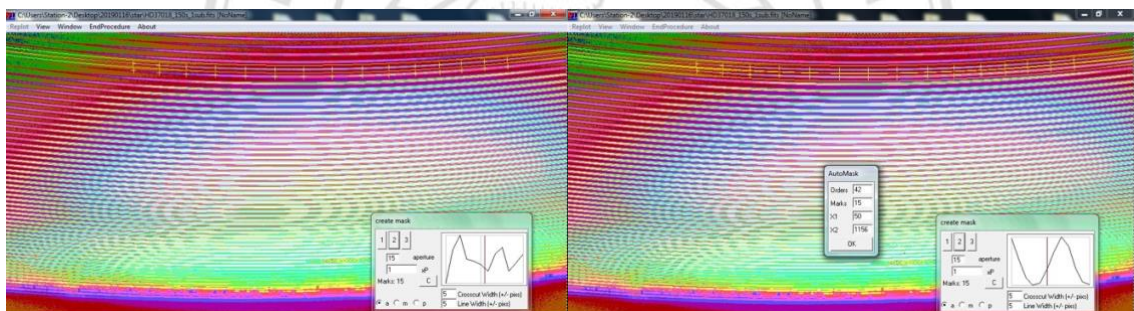
ภาพที่ ก.9 การเลือกเมนู Mark เพื่อสร้างเครื่องหมาย

7.3 คลิกขวาที่ออร์เคอรัลลำดับที่ 5 ทั้งหมด 15 ตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางออร์เคอรัล เว้นระยะห่างเท่ากัน และคลิก 2 ที่หน้าต่าง create mask จะสร้างเส้นแถบสีเหลืองตลอดแนวที่เลือกไว้



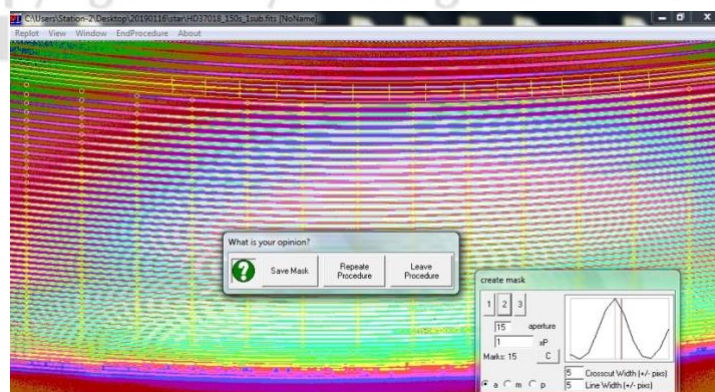
ภาพที่ ก.10 การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมและทำแนวทางของออร์เดอร์ลำดับที่ 5

7.4 คลิกขวาที่ออร์เดอร์ลำดับที่ 6 ทั้งหมด 15 ตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางออร์เดอร์ เว้นระยะห่างเท่ากัน ตรงกันกับออร์เดอร์ที่ 5 และคลิก 2 ที่หน้าต่าง create mask จะสร้างเส้นแถบสีเหลืองตลอดแนวที่เลือกไว้เช่นกัน และปรากฏหน้าต่างให้กรอกจำนวน 42 ออร์เดอร์ กด OK



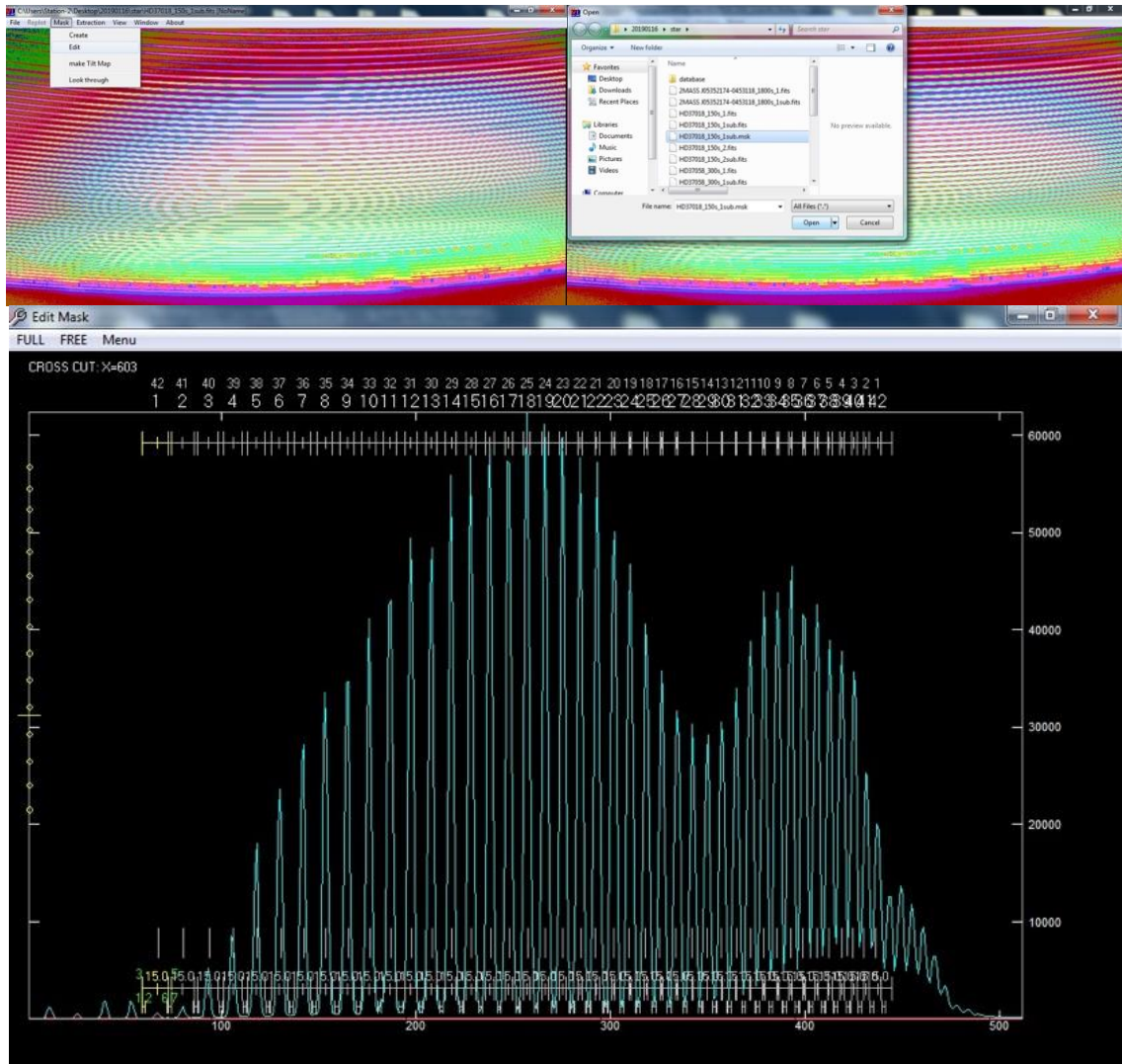
ภาพที่ ก.11 การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมและทำแนวทางของออร์เดอร์ลำดับที่ 6

7.5 โปรแกรมจะสร้างตำแหน่งเสมือนและเรียงลำดับลงมาครบ 42 ออร์เดอร์ของสเปกตรัมดาวฤกษ์ เลือก Save โปรแกรมจะสร้างไฟล์นามสกุล .msk ในแฟ้มทำงาน



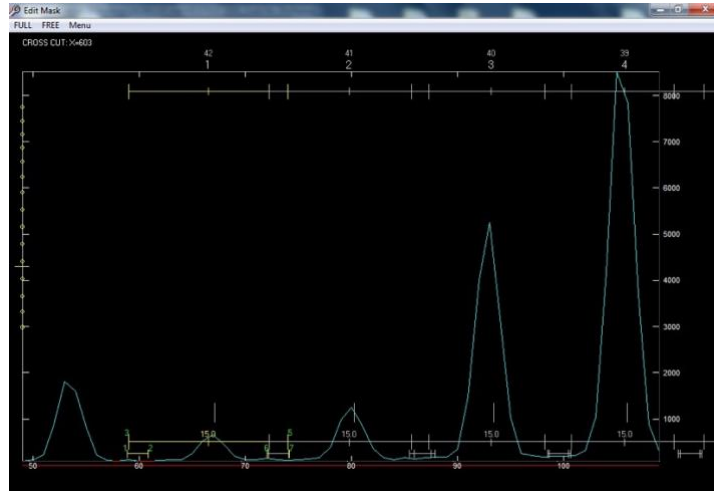
ภาพที่ ก.12 การสร้างเครื่องหมายในเส้นสเปกตรัมเสร็จสิ้น

7.6 เลือกเมนู Mark > Edit จะปรากฏหน้าต่าง Edit Mask แสดงภาพตัดขวางของสเปกตรัมขึ้นมา กด space bar เพื่อขยายภาพ



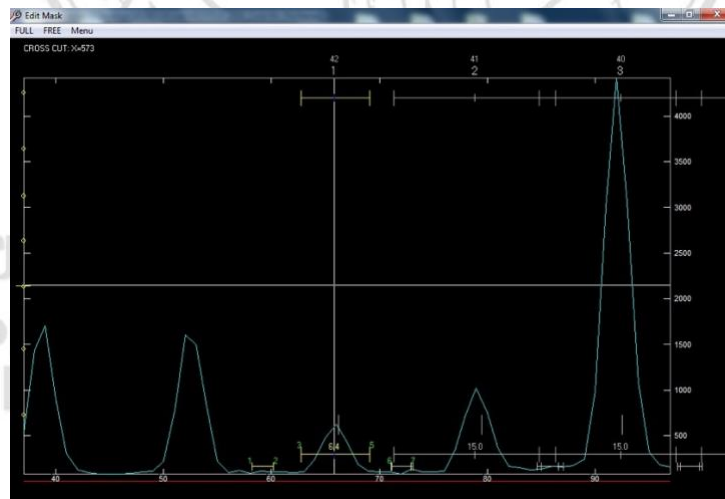
ภาพที่ ก.13 การเปิดภาพตัดขวางสเปกตรัม

7.7 เลือกออร์เดอร์ 1 กด D เพื่อลบจุด Mark ในแกน y ทั้งหมด



ภาพที่ ก.14 การลบจุดในแกน y

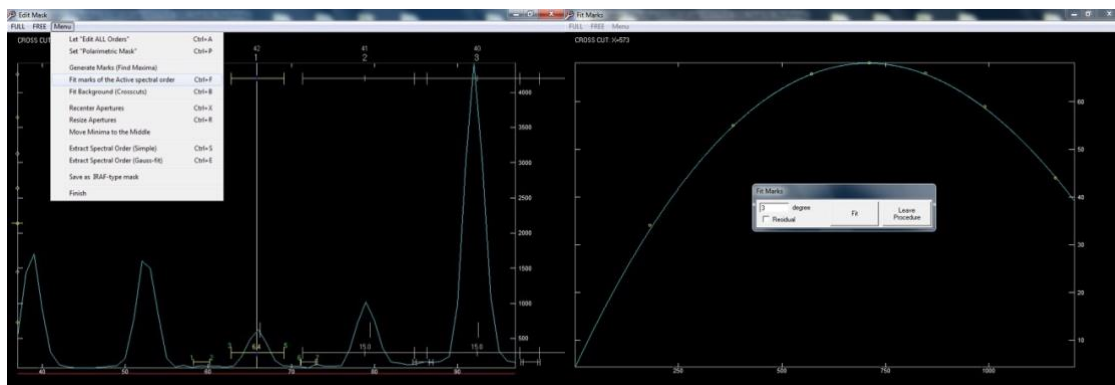
7.8 นำเมาส์เลื่อนไปตรงกลางออร์เดอร์ กด 4 เพื่อให้แถบสีเหลืองเลื่อนมาตรงกลาง นำเมาส์เลื่อนมาทางซ้ายตรงใกล้ฐานออร์เดอร์ กด 3 เพื่อกำหนดขอบเขตด้านซ้าย นำเมาส์เลื่อนมาทางขวาตรงใกล้ฐานออร์เดอร์ กด 5 เพื่อกำหนดขอบเขตด้านขวา ในส่วนเลข 1, 2 ทางซ้าย กำหนดให้ระยะสั้นที่สุดและไม่ซ้อนทับกับเลข 3 เช่นเดียวกัน เลข 6, 7 ทางขวา กำหนดให้ระยะสั้นที่สุดและไม่ซ้อนทับกับเลข 5



ภาพที่ ก.15 กำหนดขอบเขตการทำ Alignment

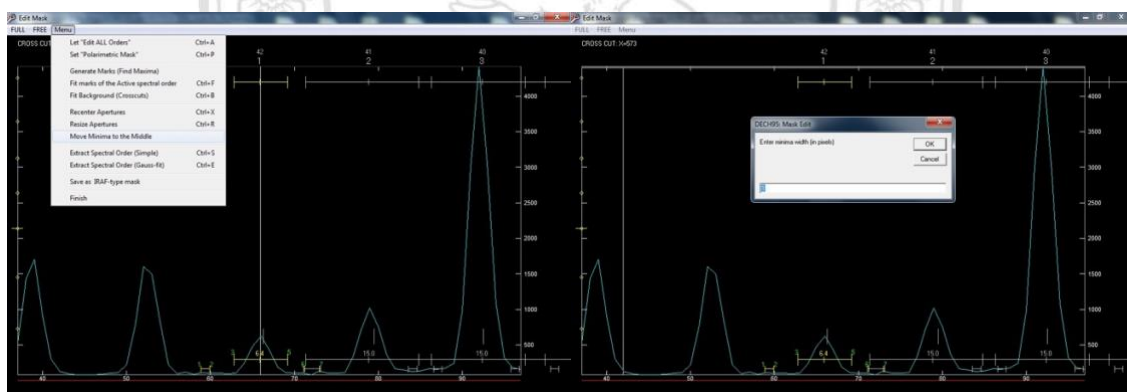
7.9 เมื่อได้ตำแหน่งที่เหมาะสมแล้ว คลิกที่จุดกึ่งกลาง และ กด M จากนั้นเลื่อนลูกศรขึ้นลงเพื่อกำหนดจุดต่อไปให้ห่างกัน 6-7 จุด

7.10 เลือกเมนู > Fit marks of the Active spectral order กรอกละ 3 ในช่อง degree กด Fit เพื่อให้เส้นทางที่จำลองขึ้นมาเข้าใกล้ส่วนโค้งของสเปกตรัมมากที่สุด



ภาพที่ ก.16 กำหนดความโค้งให้เข้ากับสเปกตรัม

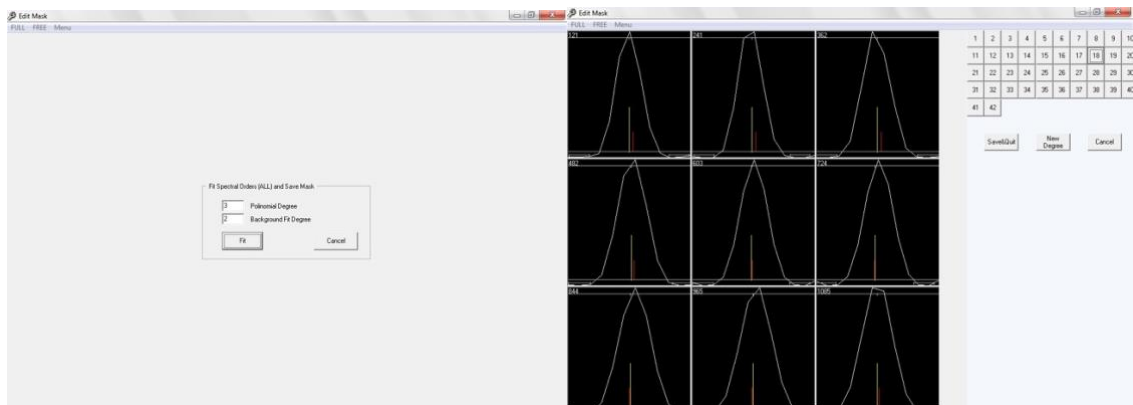
7.11 เลือกเมนู > Move Minima to the Middle กรอกละ 1 ในช่องความกว้างหน่วยพิกเซล กด OK



ภาพที่ ก.17 กำหนดระยะห่างขอบเขตของพื้นหลังสเปกตรัม

7.12 ทำออร์เดอร์ถัดไปตาม 7.7 – 7.11 จนครบ 42 ออร์เดอร์

7.13 เลือกเมนู > Save as IRAF-type mask > Fit > Save&Quit > EndProcedure

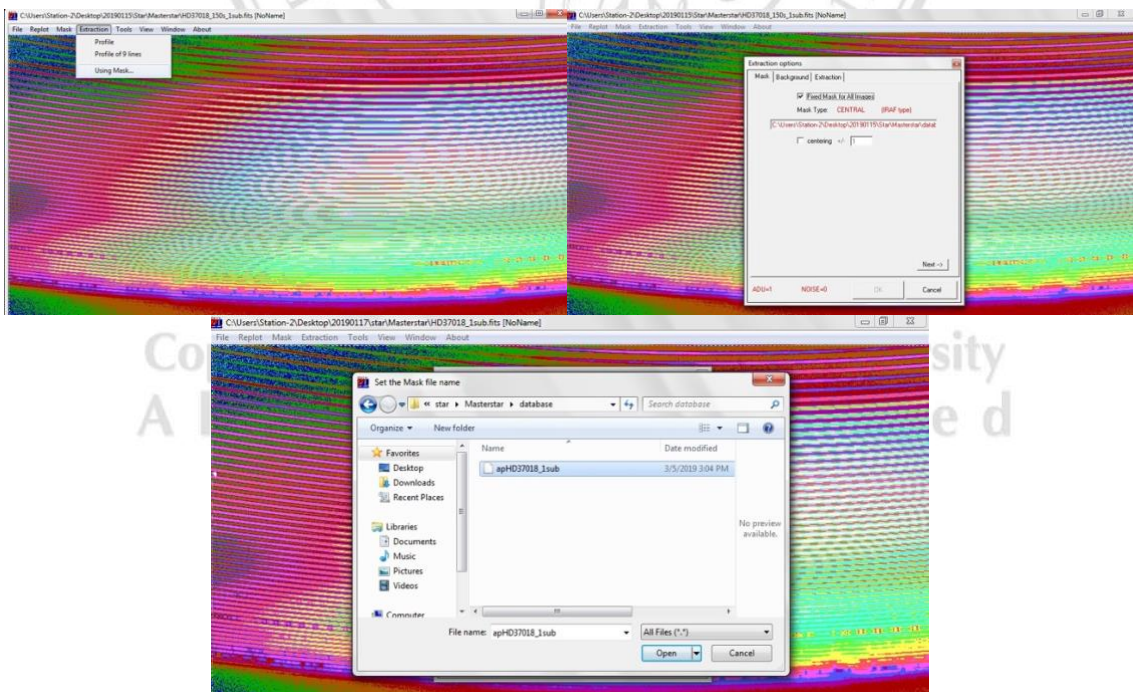


ภาพที่ ก.18 กำหนดขอบเขตความโค้งและพื้นหลัง

8. การนำ Alignment มาใช้กับสเปกตรัมทั้งหมด

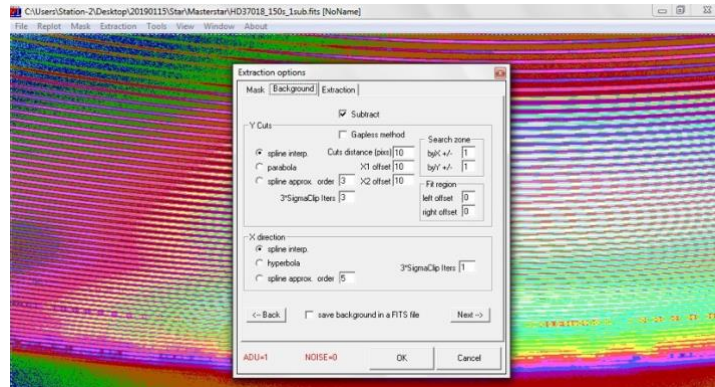
8.1 นำไฟล์ต้นแบบไปใช้กับทุกออร์เดอร์โดยเปิดโปรแกรม DECH95 2D image processing > File > Load Image และเลือกไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์ Star_sub.fits ที่ทำ Alignment ในขั้นตอนที่ 7

8.2 เลือกเมนู Extraction > Using Mask จะปรากฏหน้าต่าง Extraction options > Mask > เลือก Fixed Mask for All Images > เลือกไฟล์ apStar_sub ในแฟ้ม database



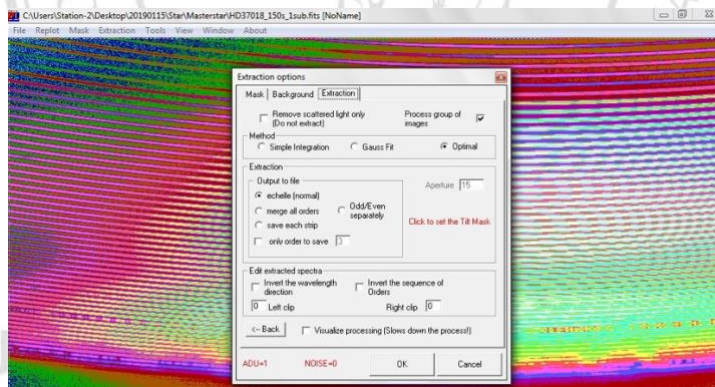
ภาพที่ ก.19 การนำไฟล์ Mark มาใช้

8.3 เลือก Background > เลือก Subtract > Y Cuts เลือก spline interp. และ X direction เลือก spline interp.



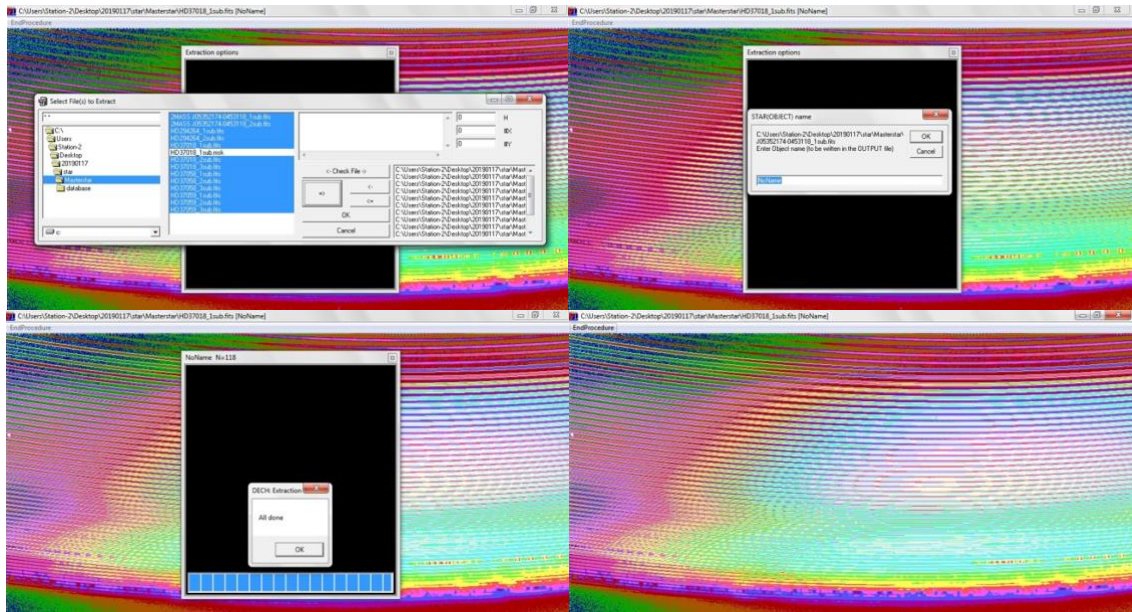
ภาพที่ ก.20 เลือกตำแหน่งในแกน X และแกน Y

8.4 เลือก Extraction > เลือก Process group of images > Method เลือก Optimal > Extraction เลือก echelle (normal) > OK



ภาพที่ ก.21 เลือกประเภทอุปกรณ์ที่ใช้

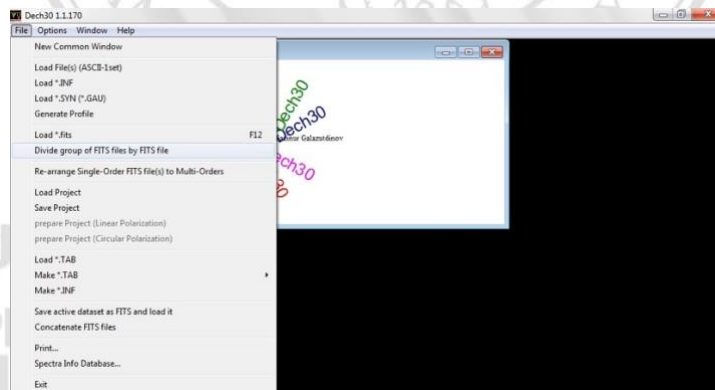
8.5 เลือกไฟล์ Star_sub_v.fits กด => จนครบทุกไฟล์ในแฟ้ม กด OK โปรแกรมจะให้กรอกชื่อไฟล์นำออก ให้กด OK จนครบทุกไฟล์ กด OK > EndProcedure



ภาพที่ ก.22 เลือกภาพสเปกตรัมทั้งหมดมาทำ Alignment

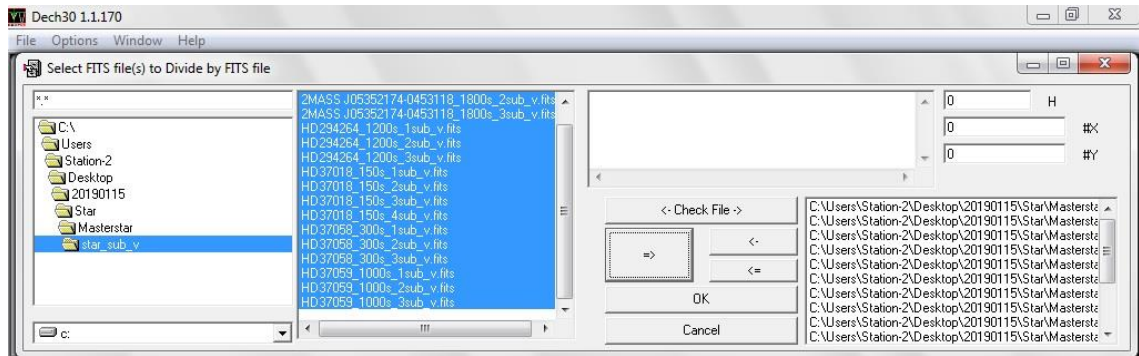
9. การนำภาพสเปกตรัมดาวฤกษ์หาว Flat Field เพื่อแก้ไขความไม่สม่ำเสมอของภาพ

9.1 เปิดโปรแกรม DECH 30 และเข้าไปที่เมนู File => Divide group of FITS files by FITS file



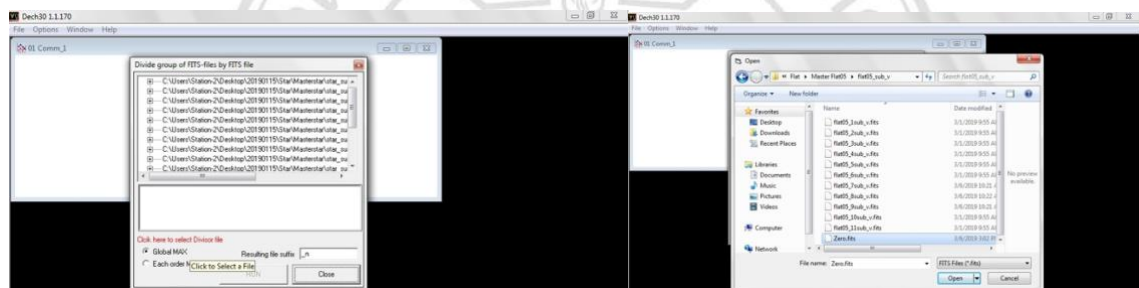
ภาพที่ ก.23 การหาร Flat Field

9.2 เลือกไฟล์ดาวฤกษ์ Star_sub_v.fits ทุกดวง ที่จะหาร Flat Field => OK



ภาพที่ ก.24 เลือกสเปกตรัมที่จะนำมาหาร Flat Field

9.3 เลือก click here to select Divisor file และเปิดไฟล์ Flat_sub_v.fits



ภาพที่ ก.25 เลือกไฟล์ Flat Field เฉลี่ย

9.4 กด Run โปรแกรมจะนำภาพดาวฤกษ์หาร Flat Field ได้ไฟล์ Star_sub_v_n.fits

10. การเปรียบเทียบความยาวคลื่นกับค่ามาตรฐาน

10.1 เปิดโปรแกรม DECH 30 และเปิดไฟล์ ThAr_sub_v.fits ที่เฉลี่ยเรียบร้อยแล้ว (ค่าตั้ง zeroc)

10.2 เปิดรูปภาพอ้างอิงเส้นสเปกตรัมของก๊าซทอร์เรียม-อาร์คอน ขึ้นมาเปรียบเทียบตำแหน่ง

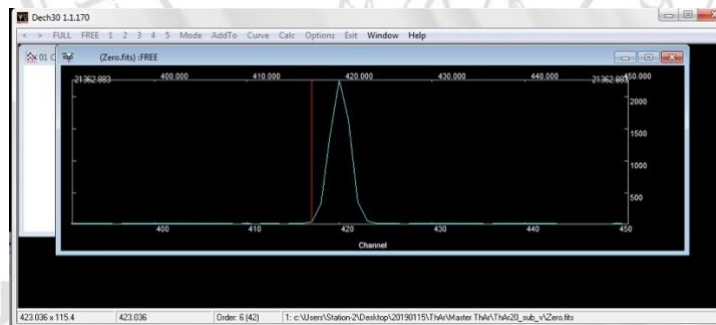


ภาพที่ ก.26 เลือกลสเปกตรัม Th-Ar

10.3 เปิดไฟล์ ThAr.txt ที่แสดงค่าพิกเซลและความยาวคลื่น เพื่อนำไปกรอกข้อมูล

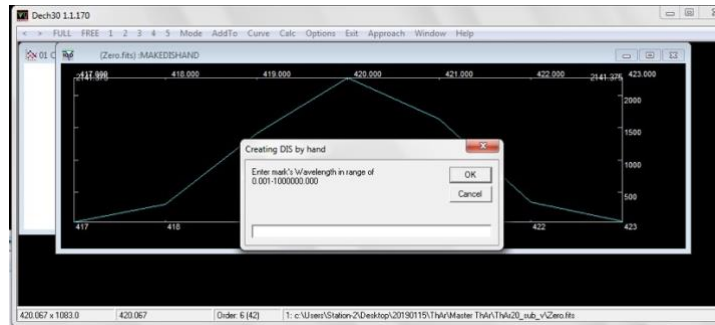
10.4 กด Ctrl+K จะปรากฏรูปแบบที่สามารถแก้ไขได้

10.5 กด Free แล้วนำเมาส์ไปชี้ที่เส้นสเปกตรัม กด space bar เพื่อขยายภาพ จากนั้นคลิกที่ฐานสเปกตรัมด้านซ้าย คลิกที่ฐานสเปกตรัมด้านขวา จะขยายภาพสเปกตรัมอีกครั้ง



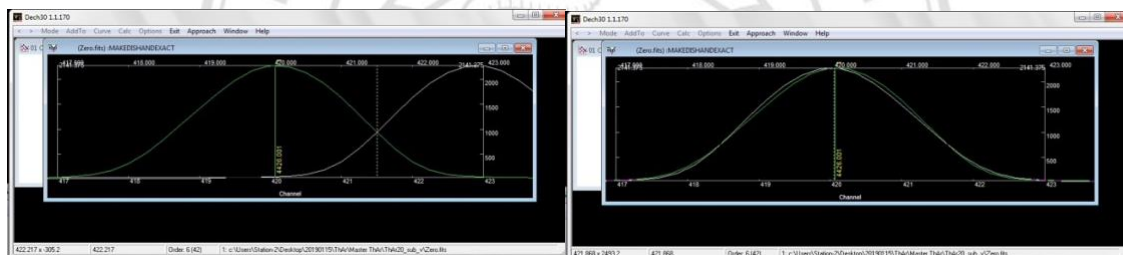
ภาพที่ ก.27 ขยายภาพสเปกตรัม Th-Ar

10.6 กด I จะปรากฏหน้าต่างให้กรอกความยาวคลื่น ให้เลือกความยาวคลื่นเรียงลำดับจากน้อยไปหา มากที่ตรงกับเส้นสเปกตรัมที่เราเลือก



ภาพที่ ก.28 กรอความยาวคลื่น

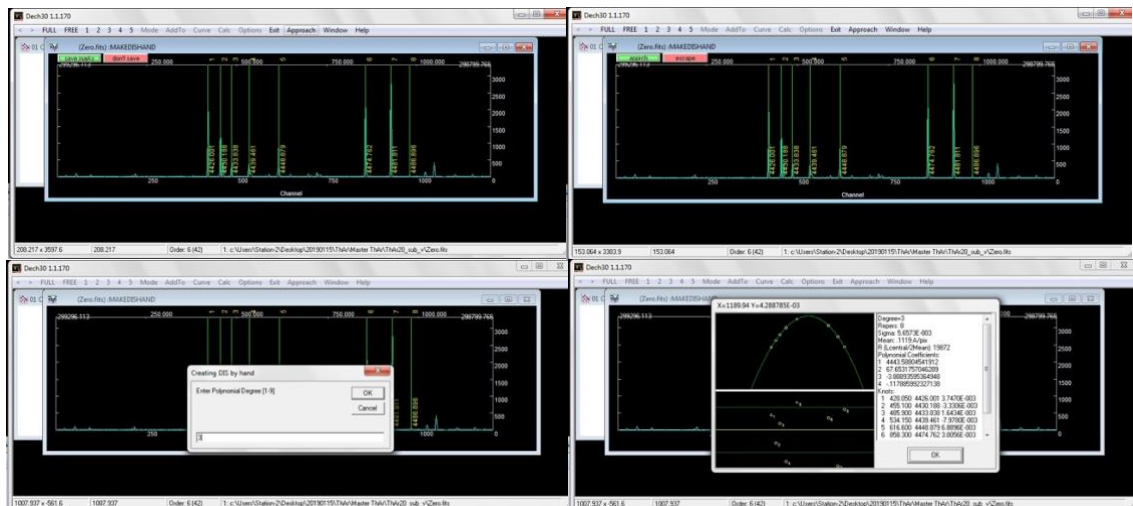
10.7 กด B เพื่อสร้างแบบจำลองสเปกตรัมขึ้นมาเปรียบเทียบกับ และกด A เพื่อเลื่อนให้แบบจำลองซ้อนทับกับที่จุดกึ่งกลางฐานสเปกตรัม จากนั้นกด Esc และเลือกเมนู Full เพื่อเลือกตำแหน่งถัดไปทำตาม ข้อ 10.4-10.7 จนครบตามรูปอ้างอิง



ภาพที่ ก.29 สร้างแบบจำลองให้ซ้อนทับกับสเปกตรัม

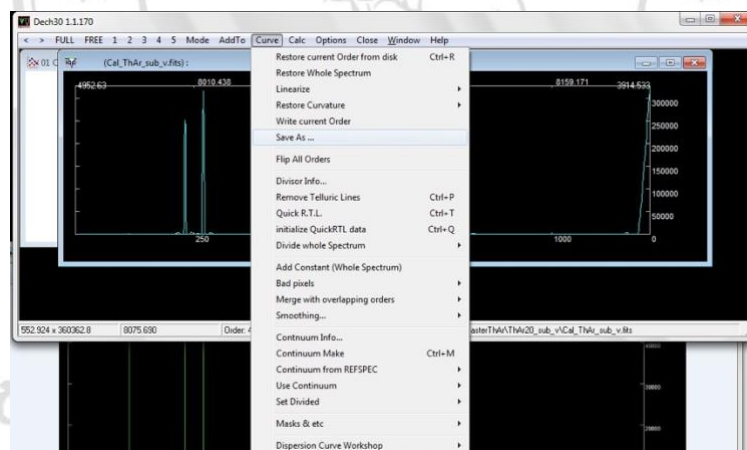
10.8 เมื่อทำครบทุกเส้นสเปกตรัมแล้วเลือกเมนู Approach => save as => apprch ใช้ degree = 3 กด OK => Esc => Yes => PgUp

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



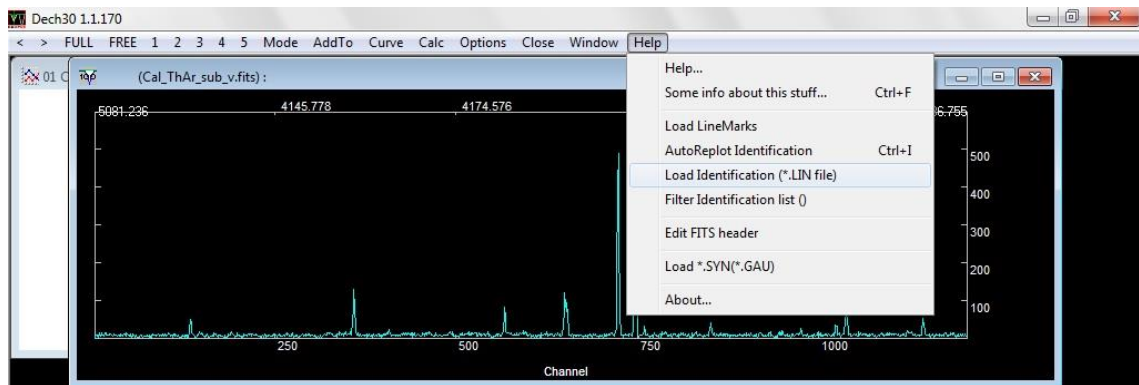
ภาพที่ ก.30 การสร้างเส้นโค้งให้เข้ากับสเปกตรัม

10.9 เมื่อทำตาม 10.4-10.8 ครบทุกออร์เดอร์แล้วไปที่เมนู Curve => Save as ใส่ชื่อที่ต้องการ .fits จะได้ไฟล์นามสกุล .dcm เพิ่มขึ้น



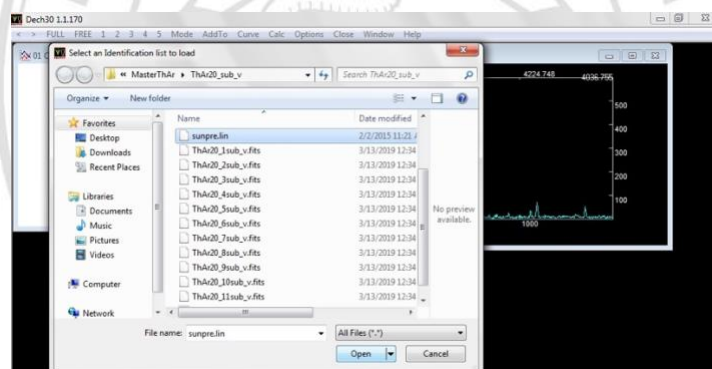
ภาพที่ ก.31 บันทึกชื่อสเปกตรัมในนามสกุล .dcm

10.10 ไปที่เมนู Help => Load Identification (*.LIN file)



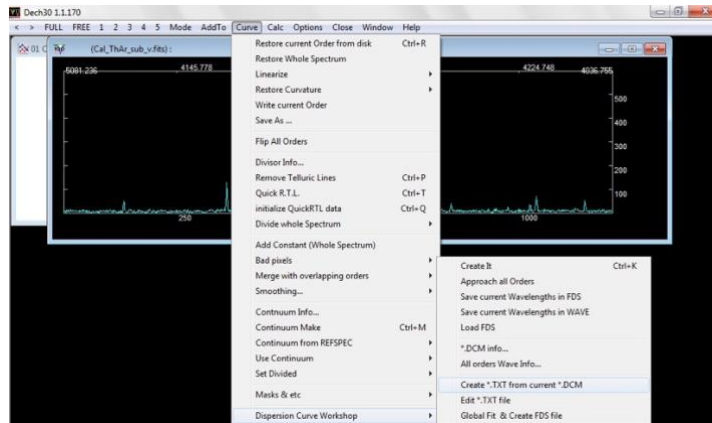
ภาพที่ ก.32 เรียกชื่อไฟล์นามสกุล .lin

10.11 เลือกไฟล์ sunpre.lin เป็นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เพื่อเทียบกับสเปกตรัมทอว์เรียม-อาร์กอนที่ได้



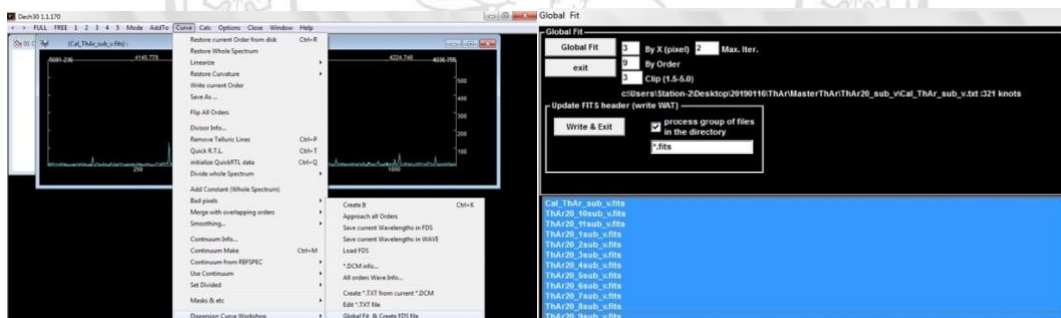
ภาพที่ ก.33 เปิดไฟล์สเปกตรัมดวงอาทิตย์มาเปรียบเทียบ

10.12 ไปที่เมนู Curve => Dispersion Curve Workshop => Create *.TXT from current *.DCM เพื่อสร้างไฟล์ .txt



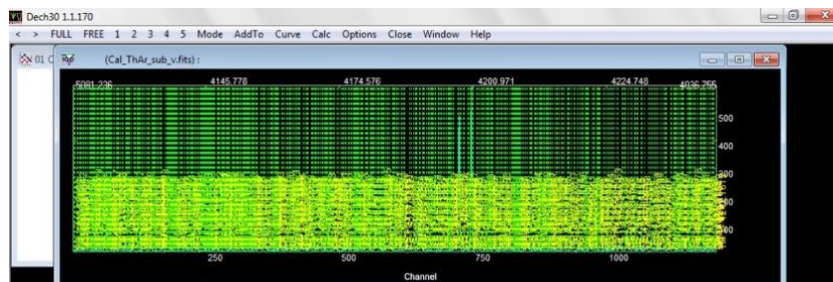
ภาพที่ ก.34 สร้างไฟล์นามสกุล .txt จากไฟล์นามสกุล .dcm

10.13 ไปที่เมนู Curve => Dispersion Curve Workshop => Global Fit & Create FDS file เพื่อสร้างไฟล์นามสกุล .fds และเลือก process group of files in the directory เลือกไฟล์ทั้งหมด แล้วคลิก Write & Exit => OK



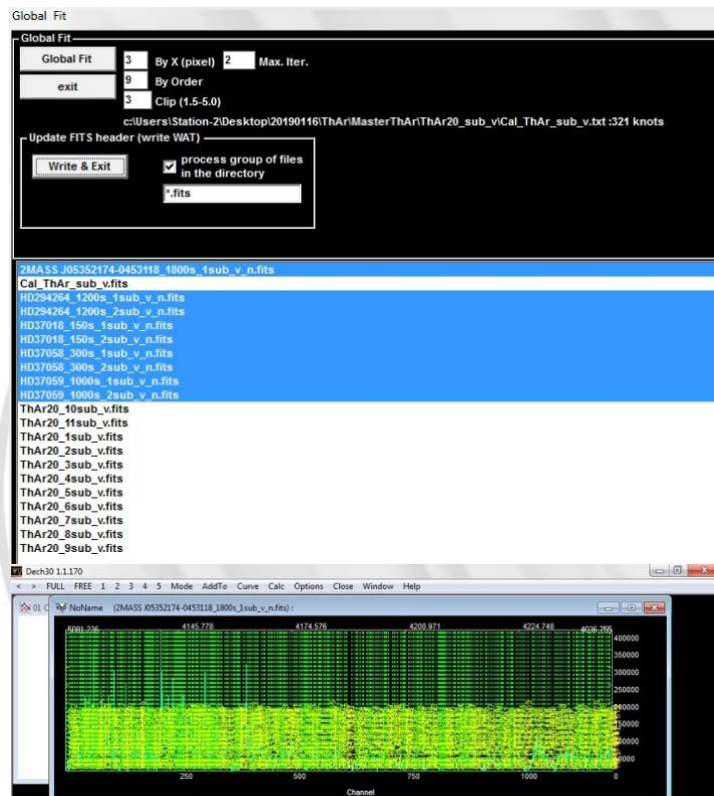
ภาพที่ ก.35 สร้างไฟล์นามสกุล .fds

10.14 กด Ctrl+I โปรแกรมจะแสดงค่าความยาวคลื่นทั้งหมดของสเปกตรัม กด PgUp ไปเรื่อย ๆ ตรวจสอบทุกออร์เดอร์จนครบ



ภาพที่ ก.36 Th-Ar ที่เปรียบเทียบความยาวคลื่นจากดวงอาทิตย์

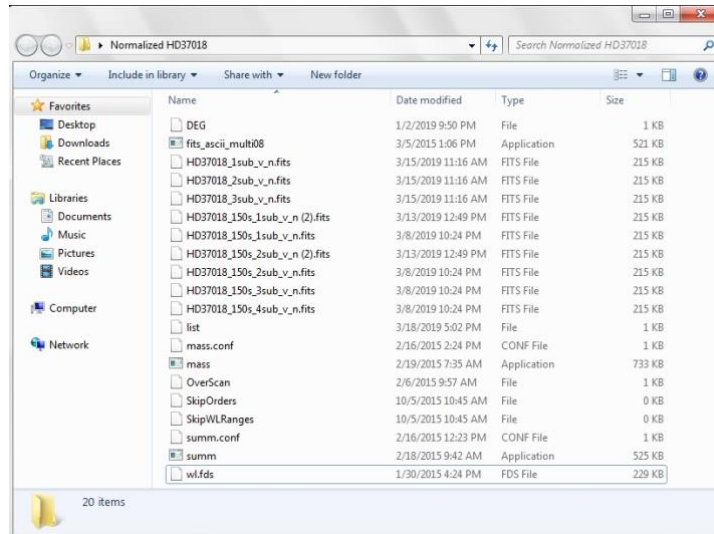
10.5 นำไฟล์ Star_sub_v_n.fits ไปวางในแฟ้มที่มีไฟล์ ThAr_sub_v.fits และทำตามข้อ 10.13-10.14 จะได้สเปกตรัมดาวฤกษ์ที่เปรียบเทียบความยาวคลื่นเรียบร้อยแล้ว



ภาพที่ ก.37 เลือกไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์มาเปรียบเทียบ

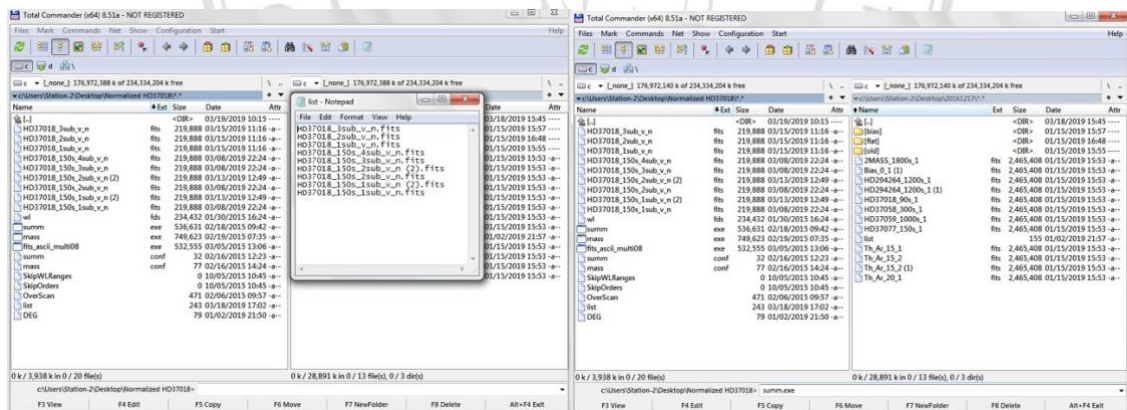
11. การทำให้สเปกตรัมอยู่ในระดับปกติ (Normalization)

11.1 จัดไฟล์ดาวฤกษ์ให้อยู่ในแฟ้มเดียวกับไฟล์ข้อมูลในการทำให้สเปกตรัมอยู่ในระดับปกติ



ภาพที่ ก.38 การจัดวางไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์ในแฟ้ม Normalized

11.2 แก้ไขไฟล์ชื่อ list.txt ให้ข้อมูลเป็นไปตามชื่อไฟล์ดาวฤกษ์ที่ใส่ในแฟ้ม ใช้คำสั่ง summ.exe เพื่อรวมไฟล์ดาวฤกษ์ทั้งหมด กลายเป็นไฟล์ชื่อ summ.fits



ภาพที่ ก.39 แก้ไขรายชื่อไฟล์ใน List และเขียนคำสั่ง summ.exe

11.3 เปิดไฟล์ summ.fits ในโปรแกรม DECH 30

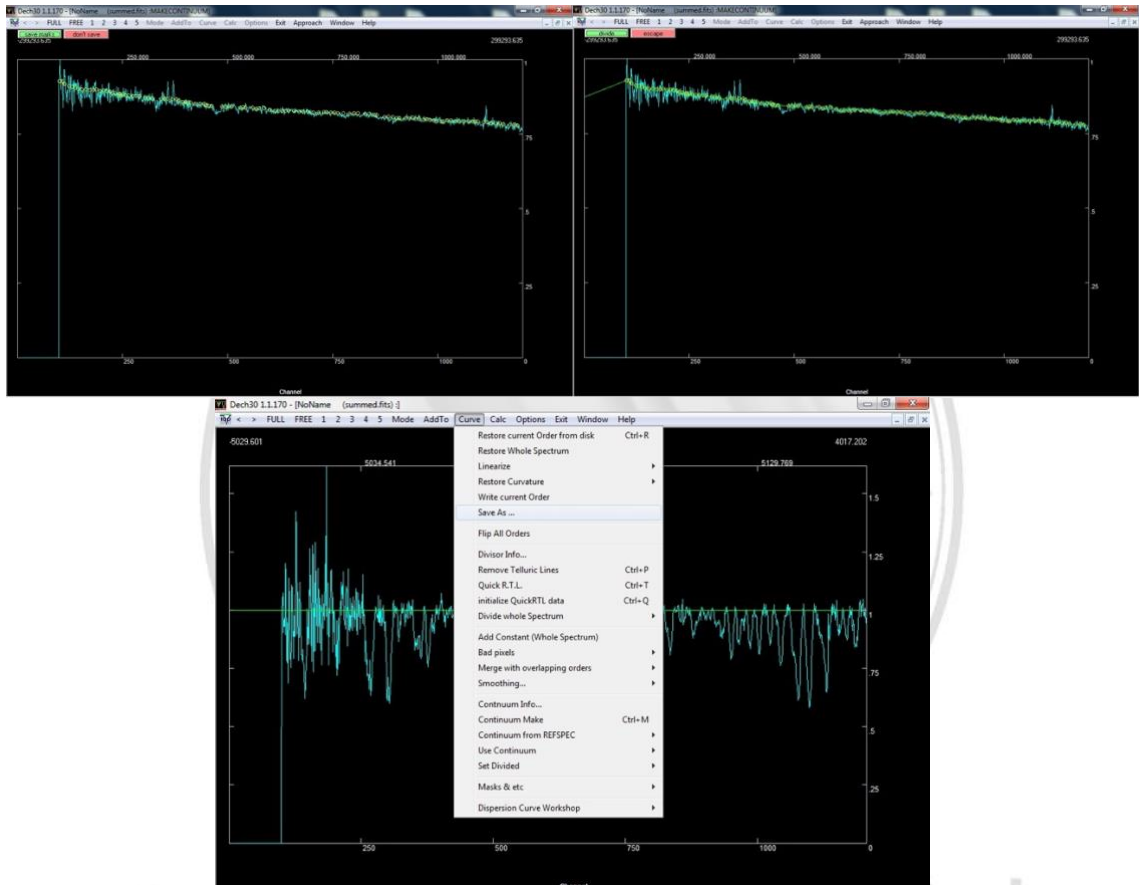
11.4 กด Ctrl+M เพื่อสร้างวงกลมในแนวเส้นสเปกตรัม กำหนดให้อยู่ตรงกลางสัญญาณรบกวนช่วงแรกก่อน

11.5 ลำดับถัดมา กด Free แล้วนำเมาส์ไปที่ที่เส้นสเปกตรัม จากนั้นคลิกที่ฐานสเปกตรัมด้านซ้าย ต่อจากช่วงสัญญาณรบกวน คลิกที่ฐานสเปกตรัมด้านขวา ช่วงสุดท้ายของภาพสเปกตรัม

11.6 กำหนดให้วงกลมอยู่ตรงกลางเส้นสเปกตรัม โดยให้อยู่ตามแนวเส้นต่อเนื่อง และเว้นช่วงเส้น

ดูคลิกจนครบ

11.7 กด Apprch => save mask => divide => PgUp ทำครบทุกออเดอร์แล้ว เลือก Curve => Save As ในชื่อ norm



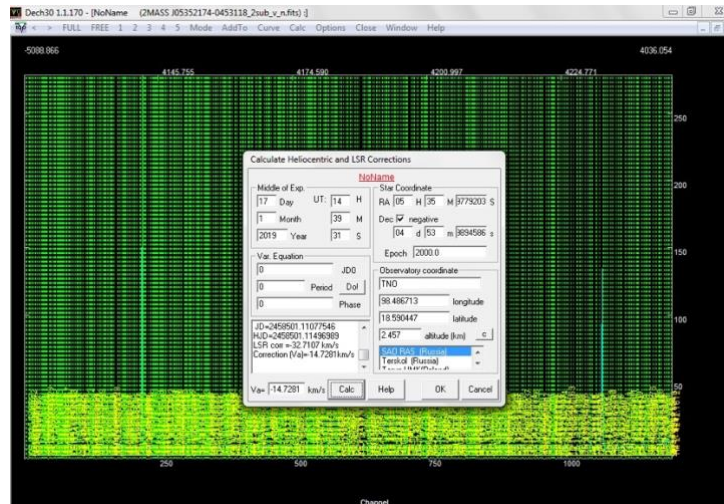
ภาพที่ ก.40 สร้างเส้นฐานสเปกตรัม (Base Line) และ Normalized

11.8 เปิด Total Commander เขียนคำสั่ง mass.exe => Enter โปรแกรมจะทำกับทุกไฟล์ในแฟ้ม

12. การหาค่าความเร็วในแนวเส้นของผู้สังเกตบนโลกในทิศทางเดียวกันกับดาวฤกษ์

12.1 เปิดสเปกตรัมดาวฤกษ์ที่ต้องการหาความเร็วในแนวเส้นในโปรแกรม DECH 30

12.2 ไปที่เมนูเลือก Calc => dRV (heliocentric) จะปรากฏหน้าต่างให้กรอกข้อมูล



ภาพที่ ก.41 การหาความเร็วของผู้สังเกตบนโลก

12.3 นำเวลาที่กลางการสังเกตการณ์ของภาพถ่ายสเปกตรัมมาใส่ในช่องเวลา ข้อมูลตำแหน่งดาวฤกษ์ และตำแหน่งผู้สังเกตให้ครบ

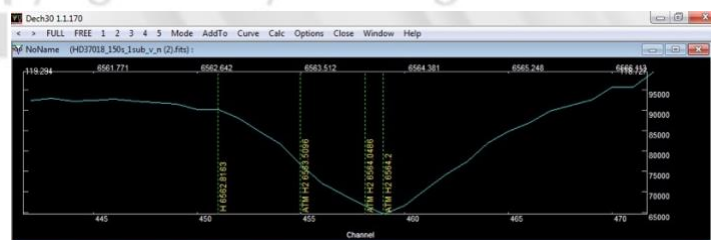
12.4 กด Calc จะแสดงผลพัลซ์ความเร็วแนวเล็งของผู้สังเกตการณ์ในช่อง Va

13. การหาความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัม

13.1 เปิดไฟล์สเปกตรัมดาวฤกษ์ Star_sub_v_n.fits ในแฟ้ม ThAr ที่เปรียบเทียบความยาวคลื่น เรียบร้อยแล้ว เลือกเมนู Help => AutoReplot Identification เพื่อปิดความยาวคลื่น

13.2 นำเมาส์ไปชี้ที่ตำแหน่งเส้นสเปกตรัมจุดกลืน กด space bar

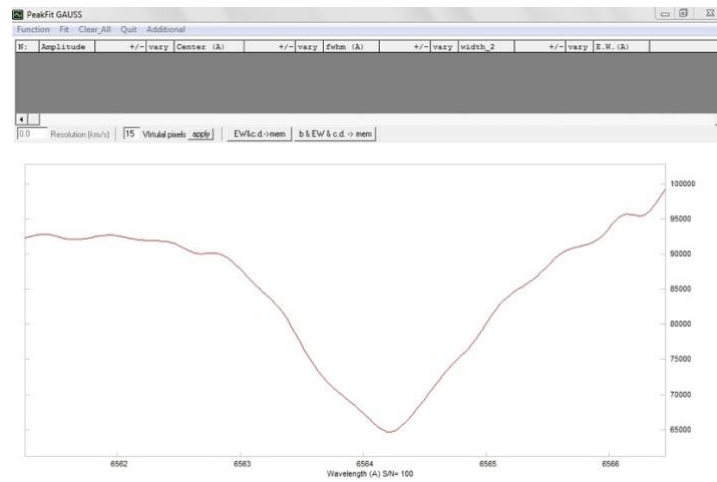
13.3 กด Free แล้วนำเมาส์ไปชี้ที่เส้นสเปกตรัม จากนั้นคลิกที่ฐานสเปกตรัมด้านซ้าย คลิกที่ฐาน สเปกตรัมด้านขวา จะขยายภาพสเปกตรัมอีกครั้ง กด Ctrl + I เพื่อแสดงความยาวคลื่นของธาตุ



ภาพที่ ก.42 การเปรียบเทียบตำแหน่งความยาวคลื่นของธาตุ

13.4 นำเมาส์ไปชี้ที่ตำแหน่งเส้นสเปกตรัมจุดกลืน กด B แล้วกด OK จะปรากฏหน้าต่างการจำลอง

เส้นสเปกตรัม นำเมาส์ไปวางตรงจุดกึ่งกลางที่ระดับต่ำสุดของเส้นสเปกตรัม จะแสดงค่าความยาวคลื่นที่มุมล่างซ้าย



ภาพที่ ก.43 การหาความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมดูดกลืน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

ความเร็วในแนวเล็งของดาวฤกษ์ในแต่ละความยาวคลื่น

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
HD 37018 2458499.018	H _γ	4341.278	4340.4620	56.3604	-13.6656	42.6948	44.0880 ± 6.4186
	He I	4388.811	4387.9290	60.2599	-13.6656	46.5943	
	He I	4472.282	4471.4790	53.8374	-13.6656	40.1718	
	He I	4714.069	4713.1460	58.7543	-13.6656	45.0887	
	H _β	4862.038	4861.3615	41.7186	-13.6656	28.0530	
	He I	4922.847	4921.9310	55.7930	-13.6656	42.1274	
	He I	5016.737	5015.6780	63.2975	-13.6656	49.6318	
	He I	5048.699	5047.7400	56.9563	-13.6656	43.2906	
	He I	5876.914	5875.6148	66.2892	-13.6656	52.6235	
	H _α	6564.203	6562.8518	61.7230	-13.6656	48.0574	
	He I	6679.339	6677.9958	60.2996	-13.6656	46.6340	
HD 37018 2458499.083	H _γ	4341.278	4340.4620	56.3604	-13.8403	42.5201	42.4197 ± 3.8769
	He I	4388.724	4387.9290	54.3160	-13.8403	40.4757	
	He I	4472.385	4471.4790	60.7431	-13.8403	46.9028	
	He I	4713.987	4713.1460	53.4940	-13.8403	39.6537	
	H _β	4862.124	4861.3615	47.0221	-13.8403	33.1818	
	He I	4922.847	4921.9310	55.7930	-13.8403	41.9527	
	He I	5016.612	5015.6780	55.8261	-13.8403	41.9858	
	He I	5048.699	5047.7400	56.9563	-13.8403	43.1160	
	He I	5876.785	5875.6148	59.7072	-13.8403	45.8669	
	H _α	6564.129	6562.8518	58.3427	-13.8403	44.5024	
	He I	6679.339	6677.9958	60.2996	-13.8403	46.4593	
HD 37018 2458499.144	H _γ	4341.278	4340.4620	56.3604	-14.0293	42.3311	44.4749 ± 4.8368
	He I	4388.835	4387.9290	61.8997	-14.0293	47.8704	
	He I	4472.385	4471.4790	60.7431	-14.0293	46.7138	
	He I	4714.092	4713.1460	60.1728	-14.0293	46.1435	
	H _β	4862.124	4861.3615	47.0221	-14.0293	32.9928	
	He I	4922.847	4921.9310	55.7930	-14.0293	41.7637	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
	He I	5016.612	5015.6780	55.8261	-14.0293	41.7968	
	He I	5048.699	5047.7400	56.9563	-14.0293	42.9270	
	He I	5876.850	5875.6148	63.0237	-14.0293	48.9944	
	H α	6564.203	6562.8518	61.7230	-14.0293	47.6937	
	He I	6679.422	6677.9958	64.0257	-14.0293	49.9964	
HD 37018 2458499.202	H γ	4341.168	4340.4620	48.7628	-14.2102	34.5526	43.7191 $\pm$ 5.7023
	He I	4388.835	4387.9290	61.8997	-14.2102	47.6895	
	He I	4472.385	4471.4790	60.7431	-14.2102	46.5329	
	He I	4714.092	4713.1460	60.1728	-14.2102	45.9626	
	H β	4862.134	4861.3615	47.6388	-14.2102	33.4286	
	He I	4922.847	4921.9310	55.7930	-14.2102	41.5828	
	He I	5016.679	5015.6780	59.8308	-14.2102	45.6206	
	He I	5048.758	5047.7400	60.4604	-14.2102	46.2502	
	He I	5876.875	5875.6148	64.2993	-14.2102	50.0891	
	H α	6564.030	6562.8518	53.8203	-14.2102	39.6101	
	He I	6679.417	6677.9958	63.8012	-14.2102	49.5910	
HD 37018 2458500.017	H γ	4341.498	4340.4620	71.5556	-14.0621	57.4935	49.2401 $\pm$ 4.8654
	He I	4388.945	4387.9290	69.4151	-14.0621	55.3530	
	He I	4472.380	4471.4790	60.4079	-14.0621	46.3458	
	He I	4714.099	4713.1460	60.6181	-14.0621	46.5560	
	H β	4862.259	4861.3615	55.3473	-14.0621	41.2852	
	He I	4922.933	4921.9310	61.0312	-14.0621	46.9691	
	He I	5016.686	5015.6780	60.2492	-14.0621	46.1870	
	He I	5048.790	5047.7400	62.3609	-14.0621	48.2988	
	He I	5876.865	5875.6148	63.7890	-14.0621	49.7270	
	H α	6564.215	6562.8518	62.2712	-14.0621	48.2091	
	He I	6679.539	6677.9958	69.2781	-14.0621	55.2160	
HD 37018 2458500.080	H γ	4341.391	4340.4620	64.1652	-14.2311	49.9341	49.4581 $\pm$ 3.7699
	He I	4388.909	4387.9290	66.9555	-14.2311	52.7244	
	He I	4472.442	4471.4790	64.5647	-14.2311	50.3336	
	He I	4714.116	4713.1460	61.6994	-14.2311	47.4683	
	H β	4862.298	4861.3615	57.7524	-14.2311	43.5213	
	He I	4922.925	4921.9310	60.5439	-14.2311	46.3129	
	He I	5016.685	5015.6780	60.1894	-14.2311	45.9583	
	He I	5048.797	5047.7400	62.7766	-14.2311	48.5455	
	He I	5876.942	5875.6148	67.7178	-14.2311	53.4867	
	H α	6564.238	6562.8518	63.3218	-14.2311	49.0907	
	He I	6679.575	6677.9958	70.8942	-14.2311	56.6632	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
HD 37018 2458500.998	H γ	4341.307	4340.4620	58.3634	-14.4129	43.9505	47.9055 $\pm$ 3.5053
	He I	4388.891	4387.9290	65.7257	-14.4129	51.3128	
	He I	4472.403	4471.4790	61.9499	-14.4129	47.5370	
	He I	4714.200	4713.1460	67.0424	-14.4129	52.6295	
	H β	4862.293	4861.3615	57.4440	-14.4129	43.0311	
	He I	4922.961	4921.9310	62.7367	-14.4129	48.3238	
	He I	5016.708	5015.6780	61.5641	-14.4129	47.1512	
	He I	5048.821	5047.7400	64.2020	-14.4129	49.7891	
	He I	5876.799	5875.6148	60.4215	-14.4129	46.0086	
	H α	6564.133	6562.8518	58.5254	-14.4129	44.1125	
	He I	6679.500	6677.9958	67.5273	-14.4129	53.1144	
HD 37018 2458501.064	H γ	4341.322	4340.4620	59.3995	-14.5795	44.8200	48.9346 $\pm$ 3.6836
	He I	4388.875	4387.9290	64.6326	-14.5795	50.0531	
	He I	4472.496	4471.4790	68.1851	-14.5795	53.6056	
	He I	4714.202	4713.1460	67.1696	-14.5795	52.5901	
	H β	4862.270	4861.3615	56.0257	-14.5795	41.4462	
	He I	4922.970	4921.9310	63.2849	-14.5795	48.7054	
	He I	5016.719	5015.6780	62.2216	-14.5795	47.6421	
	He I	5048.794	5047.7400	62.5985	-14.5795	48.0190	
	He I	5876.899	5875.6148	65.5238	-14.5795	50.9443	
	H α	6564.208	6562.8518	61.9514	-14.5795	47.3719	
	He I	6679.503	6677.9958	67.6619	-14.5795	53.0825	
HD 37018 2458501.128	H γ	4341.303	4340.4620	58.0872	-14.7735	43.3137	47.3369 $\pm$ 3.3993
	He I	4388.817	4387.9290	60.6699	-14.7735	45.8964	
	He I	4472.475	4471.4790	66.7772	-14.7735	52.0037	
	He I	4714.144	4713.1460	63.4804	-14.7735	48.7069	
	H β	4862.400	4861.3615	64.0425	-14.7735	49.2691	
	He I	4922.968	4921.9310	63.1631	-14.7735	48.3896	
	He I	5016.677	5015.6780	59.7112	-14.7735	44.9377	
	He I	5048.805	5047.7400	63.2518	-14.7735	48.4783	
	He I	5876.786	5875.6148	59.7582	-14.7735	44.9847	
	H α	6564.096	6562.8518	56.8352	-14.7735	42.0617	
	He I	6679.498	6677.9958	67.4375	-14.7735	52.6640	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนว เล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
HD 37058 2458499.023	H γ	4340.996	4340.4620	36.8829	-13.6585	23.2244	31.5767 $\pm$ 5.9838
	He I	4388.677	4387.9290	51.1048	-13.6585	37.4463	
	He I	4472.198	4471.4790	48.2056	-13.6585	34.5471	
	He I	4713.865	4713.1460	45.7339	-13.6585	32.0754	
	H β	4861.951	4861.3615	36.3535	-13.6585	22.6950	
	He I	4922.754	4921.9310	50.1285	-13.6585	36.4700	
	He I	5016.410	5015.6780	43.7524	-13.6585	30.0939	
	He I	5048.501	5047.7400	45.1968	-13.6585	31.5383	
	He I	5876.532	5875.6148	46.7984	-13.6585	33.1399	
	H α	6563.696	6562.8518	38.5632	-13.6585	24.9047	
	He I	6679.218	6677.9958	54.8676	-13.6585	41.2091	
HD 37058 2458499.087	H γ	4341.055	4340.4620	40.9580	-13.8336	27.1244	31.0504 $\pm$ 5.6537
	He I	4388.703	4387.9290	52.8812	-13.8336	39.0476	
	He I	4472.177	4471.4790	46.7977	-13.8336	32.9641	
	He I	4713.835	4713.1460	43.8257	-13.8336	29.9921	
	H β	4861.955	4861.3615	36.6001	-13.8336	22.7665	
	He I	4922.741	4921.9310	49.3366	-13.8336	35.5030	
	He I	5016.417	5015.6780	44.1708	-13.8336	30.3372	
	He I	5048.475	5047.7400	43.6526	-13.8336	29.8190	
	He I	5876.514	5875.6148	45.8800	-13.8336	32.0464	
	H α	6563.647	6562.8518	36.3248	-13.8336	22.4912	
	He I	6679.183	6677.9958	53.2964	-13.8336	39.4628	
HD 37058 2458499.148	H γ	4341.051	4340.4620	40.6817	-14.0215	26.6602	31.6865 $\pm$ 5.6276
	He I	4388.712	4387.9290	53.4961	-14.0215	39.4746	
	He I	4472.176	4471.4790	46.7306	-14.0215	32.7091	
	He I	4713.841	4713.1460	44.2073	-14.0215	30.1858	
	H β	4862.001	4861.3615	39.4369	-14.0215	25.4154	
	He I	4922.754	4921.9310	50.1285	-14.0215	36.1070	
	He I	5016.434	5015.6780	45.1869	-14.0215	31.1654	
	He I	5048.468	5047.7400	43.2369	-14.0215	29.2154	
	He I	5876.526	5875.6148	46.4922	-14.0215	32.4707	
	H α	6563.676	6562.8518	37.6496	-14.0215	23.6281	
	He I	6679.233	6677.9958	55.5410	-14.0215	41.5195	
HD 37058 2458500.022	H γ	4341.021	4340.4620	38.6097	-14.0546	24.5551	31.3477 $\pm$ 5.9893
	He I	4388.618	4387.9290	47.0738	-14.0546	33.0192	
	He I	4472.166	4471.4790	46.0602	-14.0546	32.0056	
	He I	4713.906	4713.1460	48.3418	-14.0546	34.2872	
	H β	4861.970	4861.3615	37.5252	-14.0546	23.4706	
	He I	4922.763	4921.9310	50.6766	-14.0546	36.6220	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนว เล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
	He I	5016.443	5015.6780	45.7248	-14.0546	31.6702	
	He I	5048.464	5047.7400	42.9993	-14.0546	28.9447	
	He I	5876.539	5875.6148	47.1555	-14.0546	33.1009	
	H α	6563.680	6562.8518	37.8323	-14.0546	23.7777	
	He I	6679.275	6677.9958	57.4265	-14.0546	43.3719	
HD 37058 2458500.084	H γ	4341.063	4340.4620	41.5106	-14.2249	27.2857	31.3058 $\pm$ 5.5060
	He I	4388.654	4387.9290	49.5334	-14.2249	35.3085	
	He I	4472.158	4471.4790	45.5238	-14.2249	31.2989	
	He I	4713.862	4713.1460	45.5431	-14.2249	31.3182	
	H β	4861.994	4861.3615	39.0052	-14.2249	24.7803	
	He I	4922.758	4921.9310	50.3721	-14.2249	36.1472	
	He I	5016.420	5015.6780	44.3501	-14.2249	30.1252	
	He I	5048.451	5047.7400	42.2272	-14.2249	28.0023	
	He I	5876.553	5875.6148	47.8699	-14.2249	33.6450	
	H α	6563.683	6562.8518	37.9693	-14.2249	23.7444	
	He I	6679.264	6677.9958	56.9327	-14.2249	42.7078	
HD 37058 2458501.004	H γ	4341.045	4340.4620	40.2673	-14.4066	25.8607	31.6045 $\pm$ 6.1946
	He I	4388.768	4387.9290	57.3221	-14.4066	42.9155	
	He I	4472.170	4471.4790	46.3284	-14.4066	31.9218	
	He I	4713.876	4713.1460	46.4336	-14.4066	32.0270	
	H β	4861.999	4861.3615	39.3136	-14.4066	24.9070	
	He I	4922.792	4921.9310	52.4430	-14.4066	38.0364	
	He I	5016.423	5015.6780	44.5294	-14.4066	30.1228	
	He I	5048.437	5047.7400	41.3958	-14.4066	26.9892	
	He I	5876.472	5875.6148	43.7370	-14.4066	29.3304	
	H α	6563.726	6562.8518	39.9336	-14.4066	25.5270	
	He I	6679.208	6677.9958	54.4187	-14.4066	40.0121	
HD 37058 2458501.069	H γ	4341.026	4340.4620	38.9550	-14.5744	24.3806	32.0200 $\pm$ 5.8598
	He I	4388.726	4387.9290	54.4526	-14.5744	39.8782	
	He I	4472.175	4471.4790	46.6636	-14.5744	32.0892	
	He I	4713.859	4713.1460	45.3522	-14.5744	30.7778	
	H β	4862.009	4861.3615	39.9302	-14.5744	25.3558	
	He I	4922.781	4921.9310	51.7730	-14.5744	37.1986	
	He I	5016.444	5015.6780	45.7846	-14.5744	31.2102	
	He I	5048.489	5047.7400	44.4841	-14.5744	29.9097	
	He I	5876.552	5875.6148	47.8188	-14.5744	33.2444	
	H α	6563.737	6562.8518	40.4361	-14.5744	25.8617	
	He I	6679.263	6677.9958	56.8878	-14.5744	42.3134	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวเล็ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวเล็งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว เล็งเฉลี่ย (กม./วินาที)
HD 37058 2458501.133	H γ	4341.077	4340.4620	42.4775	-14.7692	27.7083	32.5041 $\pm$ 5.2795
	He I	4388.686	4387.9290	51.7197	-14.7692	36.9505	
	He I	4472.183	4471.4790	47.1999	-14.7692	32.4307	
	He I	4713.862	4713.1460	45.5431	-14.7692	30.7739	
	H β	4862.019	4861.3615	40.5469	-14.7692	25.7777	
	He I	4922.790	4921.9310	52.3212	-14.7692	37.5520	
	He I	5016.439	5015.6780	45.4857	-14.7692	30.7165	
	He I	5048.503	5047.7400	45.3156	-14.7692	30.5464	
	He I	5876.599	5875.6148	50.2169	-14.7692	35.4477	
	H α	6563.757	6562.8518	41.3497	-14.7692	26.5805	
	He I	6679.284	6677.9958	57.8305	-14.7692	43.0613	
HD 37059 2458499.033	H γ	4341.224	4340.4620	52.6307	-13.6804	38.9503	45.5566 $\pm$ 15.6171
	H β	4862.140	4861.3615	48.0088	-13.6804	34.3284	
	H α	6564.539	6562.8518	77.0715	-13.6804	63.3911	
HD 37059 2458499.096	H γ	4341.302	4340.4620	58.0181	-13.8577	44.1604	48.5021 $\pm$ 10.4966
	H β	4862.249	4861.3615	54.7306	-13.8577	40.8729	
	H α	6564.479	6562.8518	74.3307	-13.8577	60.4730	
HD 37059 2458499.156	H γ	4341.325	4340.4620	59.6067	-14.0461	45.5606	42.5934 $\pm$ 11.0275
	H β	4862.082	4861.3615	44.4320	-14.0461	30.3859	
	H α	6564.294	6562.8518	65.8799	-14.0461	51.8338	
HD 37059 2458500.032	H γ	4341.062	4340.4620	41.4415	-14.0774	27.3641	40.0473 $\pm$ 18.9301
	H β	4862.092	4861.3615	45.0487	-14.0774	30.9713	
	H α	6564.513	6562.8518	75.8839	-14.0774	61.8065	
HD 37059 2458500.094	H γ	4341.289	4340.4620	57.1202	-14.2514	42.8688	48.4821 $\pm$ 9.0242
	H β	4862.301	4861.3615	57.9374	-14.2514	43.6860	
	H α	6564.453	6562.8518	73.1430	-14.2514	58.8916	
HD 37059 2458501.014	H γ	4341.113	4340.4620	44.9640	-14.4265	30.5375	38.4909 $\pm$ 7.2383
	H β	4862.248	4861.3615	54.6690	-14.4265	40.2425	
	H α	6564.146	6562.8518	59.1192	-14.4265	44.6927	
HD 37059 2458501.079	H γ	4341.002	4340.4620	37.2973	-14.6004	22.6969	41.6511 $\pm$ 16.7174
	H β	4862.376	4861.3615	62.5625	-14.6004	47.9621	
	H α	6564.360	6562.8518	68.8948	-14.6004	54.2944	
HD 37059 2458501.142	H γ	4341.336	4340.4620	60.3664	-14.794	45.5724	55.8455 $\pm$ 15.2209
	H β	4862.390	4861.3615	63.4259	-14.794	48.6319	
	H α	6564.781	6562.8518	88.1261	-14.794	73.3321	

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาวคลื่น อ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวตั้ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว ตั้งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวตั้งสุทธิ (กม./วินาที)
HD 294264						
2458499.048	H α ปฐมภูมิ	6564.572	6562.8518	78.5790	-13.7568	64.8222
2458499.111		6564.662	6562.8518	82.6902	-13.9430	68.7472
2458499.171		6564.785	6562.8518	88.3088	-14.1302	74.1786
2458500.047		6562.355	6562.8518	-22.6939	-14.1549	-36.8488
2458500.108		6562.937	6562.8518	3.8919	-14.3329	-10.4410
2458501.030		6564.431	6562.8518	72.1381	-14.5040	57.6341
2458501.094		6564.553	6562.8518	77.7111	-14.6832	63.0279
2458499.048	H α ทุติยภูมิ	6563.185	6562.8518	15.2206	-13.7568	1.4638
2458499.111		6563.362	6562.8518	23.3060	-13.9430	9.3630
2458499.171		6563.126	6562.8518	12.5255	-14.1302	-1.6047
2458500.047		6564.496	6562.8518	75.1073	-14.1549	60.9524
2458500.108		6564.310	6562.8518	66.6108	-14.3329	52.2779
2458501.030		6563.159	6562.8518	14.0329	-14.5040	-0.4711
2458501.094		6563.124	6562.8518	12.4341	-14.6832	-2.2491

ดาวฤกษ์ HJD (วัน)	ธาตุ	ความยาวคลื่น สังเกตการณ์ (อังสตรอม)	ความยาว คลื่นอ้างอิง (อังสตรอม)	ความเร็วใน แนวตั้ง (กม./วินาที)	ความเร็วในแนว ตั้งของผู้สังเกต (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวตั้งสุทธิ (กม./วินาที)	ความเร็วใน แนวตั้งเฉลี่ย (กม./วินาที)
2MASS J05352 174-0453118 2458499.068	H α	6563.673	6562.8518	37.5125	-13.7946	23.7179	27.9736 $\pm$ 6.0184
	He I	6679.021	6677.9958	46.0238	-13.7946	32.2292	
2MASS J05352 174-0453118 2458499.131	H α	6563.688	6562.8518	38.1977	-13.9865	24.2112	28.7079 $\pm$ 6.3592
	He I	6679.047	6677.9958	47.1910	-13.9865	33.2045	
2MASS J05352 174-0453118 2458499.190	H α	6563.670	6562.8518	37.3755	-14.1694	23.2061	27.3956 $\pm$ 5.9248
	He I	6679.015	6677.9958	45.7544	-14.1694	31.5850	
2MASS J05352 174-0453118 2458500.067	H α	6563.680	6562.8518	37.8323	-14.1905	23.6418	29.6006 $\pm$ 8.4270
	He I	6679.104	6677.9958	49.7499	-14.1905	35.5594	
2MASS J05352 174-0453118 2458501.050	H α	6563.703	6562.8518	38.8829	-14.5381	24.3448	28.2744 $\pm$ 5.5572
	He I	6679.037	6677.9958	46.7421	-14.5381	32.2040	
2MASS J05352 174-0453118 2458501.115	H α	6563.732	6562.8518	40.2077	-14.7302	25.4775	29.0589 $\pm$ 5.0649
	He I	6679.051	6677.9958	47.3706	-14.7302	32.6404	

ภาคผนวก ค

ความยาวคลื่นท่อเรียบ-อาร์กอนอ้างอิง

ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)
1	619.1494	4042.894	5	924.0181	4266.287	8	115.7052	4331.201
1	634.4493	4044.420	5	986.8610	4272.169	8	247.6650	4348.064
1	718.5995	4052.921	5	1046.034	4277.525	8	408.5502	4367.832
1	919.3065	4072.004	6	381.2346	4259.363	8	433.0117	4370.753
1	1017.049	4080.707	6	440.6838	4266.287	8	477.0732	4375.952
2	288.7892	4052.921	6	491.5887	4272.169	8	508.8042	4379.667
2	499.0038	4076.628	6	538.9607	4277.525	8	555.6149	4385.057
2	526.4402	4079.576	6	747.9492	4300.098	8	698.7493	4400.986
2	536.5487	4080.707	6	837.4108	4309.239	8	941.8722	4426.001
2	725.9161	4100.341	6	1070.022	4331.201	8	985.3106	4430.189
2	761.8284	4103.912	6	1096.730	4333.562	8	1024.071	4433.838
2	853.6498	4112.754	6	1117.064	4335.338	8	1084.907	4439.461
2	1064.171	4131.722	7	66.32195	4272.169	8	1192.159	4448.879
3	570.7296	4112.754	7	288.0059	4300.098	9	438.0347	4426.001
3	833.9360	4131.722	7	552.2491	4331.201	9	473.1117	4430.188
3	1090.085	4158.588	7	573.2836	4333.561	9	503.9117	4433.838
4	376.6589	4158.588	7	589.1951	4335.338	9	552.0492	4439.461
4	425.6953	4164.180	7	678.7607	4345.168	9	634.6649	4448.879
4	584.8442	4181.885	7	705.6878	4348.064	9	876.4223	4474.762
4	741.7869	4198.317	7	744.6995	4352.205	9	946.9951	4481.811
4	765.1541	4200.674	7	840.6452	4362.066	9	999.7295	4486.896
4	868.9819	4210.923	7	898.5378	4367.832	10	378.7346	4474.762
4	1056.703	4228.158	7	928.4952	4370.753	10	436.2307	4481.811
4	1162.834	4237.219	7	934.4004	4371.329	10	614.8951	4502.927
5	552.9839	4228.158	7	982.9107	4375.954	10	683.8722	4510.729
5	636.4067	4237.219	7	1022.672	4379.667	10	868.3606	4530.552
5	852.0953	4259.363	7	1081.918	4385.057	10	1013.645	4545.052

ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)
11	212.0501	4510.729	16	747.8951	4889.042	22	1009.727	5358.707
11	483.4691	4545.052	16	885.7567	4904.749	22	1147.842	5374.822
11	647.5256	4564.404	16	1160.599	4933.209	23	710.2994	5403.199
11	781.3432	4579.350	17	163.5002	4879.863	23	770.9268	5410.768
11	880.6330	4589.897	17	227.7303	4889.042	23	857.3967	5421.352
11	967.5995	4598.763	17	340.9739	4904.749	23	1118.117	5452.219
11	1078.934	4609.567	17	555.6995	4933.209	24	466.1501	5452.219
12	32.5426	4545.052	17	817.3494	4965.080	24	743.6372	5490.120
12	288.0089	4579.350	17	879.4996	4972.160	24	787.6995	5495.874
12	370.0232	4589.898	18	278.3231	4965.080	24	814.0995	5499.255
12	440.4232	4598.763	18	607.2994	5009.334	24	868.3494	5506.113
12	528.3568	4609.567	18	669.6495	5017.163	25	199.3002	5495.874
12	767.0377	4637.232	18	729.9495	5024.612	25	264.4001	5506.113
12	1122.100	4673.661	18	1061.399	5062.037	25	386.6001	5524.957
13	66.23848	4609.567	18	1119.651	5067.973	25	617.9495	5558.702
13	429.4617	4657.901	19	148.3166	5016.536	25	757.0182	5577.685
13	556.8328	4673.661	19	464.8205	5062.037	25	828.1902	5587.026
13	803.7567	4702.320	19	730.8787	5096.485	25	841.5496	5588.750
13	818.7760	4703.989	19	886.6591	5115.045	25	911.0107	5597.476
13	1004.200	4723.438	19	914.4496	5118.202	25	935.1311	5600.465
13	1038.461	4726.868	19	1133.295	5141.783	25	940.3996	5601.122
13	1091.634	4732.054	19	1168.269	5145.307	25	986.7983	5606.733
13	1132.345	4735.906	20	318.9255	5115.045	26	289.3848	5597.476
14	483.3502	4726.868	20	511.6502	5141.783	26	348.2814	5606.733
14	524.7722	4732.054	20	537.8378	5145.307	26	644.5995	5650.702
14	555.9377	4735.906	20	605.3792	5154.244	26	876.2996	5681.900
14	802.5229	4764.865	20	638.8672	5158.604	26	953.7495	5691.661
14	926.9688	4778.294	20	694.7639	5165.771	26	1198.726	5720.183
14	1207.249	4806.021	20	874.8442	5187.745	27	252.6664	5681.900
15	14.4000	4726.868	21	302.5731	5187.745	27	313.2098	5691.661
15	286.6502	4764.865	21	603.6826	5229.794	27	497.2081	5720.183
15	605.4723	4806.021	21	613.8664	5231.16	27	628.4493	5739.520
15	746.2308	4822.855	21	729.7995	5246.198	27	778.6995	5760.551
15	972.8378	4847.810	21	1027.849	5281.629	27	954.4558	5783.536
15	1153.761	4865.477	21	1075.800	5286.887	27	1107.800	5802.080
16	417.7887	4847.810	22	446.0742	5286.887	27	1125.526	5804.141
16	557.7993	4865.913	22	634.5609	5311.998	28	420.8398	5802.080
16	670.8222	4879.863	22	677.1583	5317.497	28	434.0294	5804.141

ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)
28	632.9391	5834.263	32	629.5297	6243.120	36	870.1954	6752.833
28	817.7495	5860.310	32	999.8995	6296.872	36	962.5878	6766.612
28	988.5496	5882.624	32	1082.399	6307.657	37	139.7387	6752.833
28	1036.471	5888.583	33	286.6001	6296.872	37	210.1305	6766.612
29	187.1001	5860.310	33	348.0617	6307.657	37	536.4996	6827.249
29	320.6502	5882.624	33	826.1836	6384.717	37	736.0494	6861.269
29	357.2731	5888.583	33	926.8901	6399.207	37	797.8722	6871.289
29	505.1232	5912.085	33	954.1836	6403.013	37	850.3491	6879.583
29	614.8878	5928.816	33	1019.084	6411.899	37	898.6993	6887.088
29	865.4426	5964.472	33	1052.211	6416.307	37	905.9722	6888.174
29	918.7995	5971.601	33	1067.798	6418.370	37	1062.453	6911.227
29	934.6878	5973.665	33	1171.257	6431.555	38	70.79996	6871.289
29	1041.349	5987.302	34	141.4002	6384.717	38	270.7002	6911.227
30	350.5502	5987.302	34	314.0961	6416.307	38	408.8502	6937.664
30	513.8502	6013.680	34	460.1162	6441.899	38	483.4001	6951.478
30	587.7493	6025.150	34	471.5502	6443.86	38	531.5493	6960.250
30	633.5993	6032.132	34	551.0967	6457.282	38	560.4493	6965.431
30	670.9296	6037.697	34	607.1994	6466.553	38	951.5993	7030.251
30	708.1994	6043.223	34	710.6493	6483.083	38	1210.399	7067.218
30	733.3494	6046.897	34	914.9995	6513.846	39	175.1501	7030.251
30	773.7995	6052.723	35	592.8495	6583.906	39	361.0117	7067.218
30	820.8495	6059.373	35	620.8992	6588.538	39	449.4953	7084.169
30	859.6469	6064.751	35	638.7493	6591.479	39	463.1076	7086.705
30	982.4493	6081.243	35	899.0641	6632.083	39	575.5952	7107.478
30	1179.849	6105.635	35	940.9992	6638.221	39	678.7607	7125.817
31	79.13766	6043.223	35	951.5493	6639.740	39	803.4493	7147.042
31	169.5559	6059.373	35	979.1992	6643.698	39	875.7108	7158.839
31	441.4082	6105.635	35	1074.549	6656.938	39	1198.999	7206.979
31	498.6262	6114.923	35	1102.299	6660.676	40	48.04996	7147.042
31	695.0721	6145.441	35	1145.349	6666.359	40	338.4001	7206.979
31	881.0049	6172.278	36	206.5502	6638.221	40	644.8495	7265.172
31	886.7890	6173.096	36	235.2001	6643.698	40	688.2994	7272.936
31	956.8107	6182.622	36	325.8740	6660.676	40	917.5608	7311.716
31	1100.000	6201.100	36	356.9232	6666.359	40	944.3494	7316.005
32	206.5688	6172.278	36	402.6377	6674.697	40	1193.649	7353.292
32	210.9893	6173.096	36	416.8387	6677.282	41	120.9270	7311.716
32	439.8501	6212.503	36	456.0502	6684.287	41	140.7920	7316.003
32	460.6002	6215.938	36	538.9140	6698.869	41	319.4885	7353.292

ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	ออร์เดอร์	พิกเซล	ความยาวคลื่น (อังสตรอม)
41	412.9002	7372.118	42	725.2361	7589.315	45	287.7887	8014.786
41	473.1617	7383.980	42	1068.343	7647.379	45	463.8502	8053.309
41	519.6113	7392.980	43	343.3032	7678.126	45	710.3723	8103.693
41	622.1492	7412.336	43	567.9490	7723.761	45	770.5608	8115.311
41	693.0525	7425.294	43	921.1311	7788.934	46	249.9246	8186.911
41	749.4682	7435.368	43	976.8213	7798.364	46	575.6108	8264.522
41	961.4797	7471.164	43	1074.172	7814.323	46	770.0195	8304.425
41	1175.795	7503.869	43	1095.913	7817.770	47	338.0002	8408.210
42	139.0002	7471.164	44	545.1994	7891.075	47	409.7002	8424.647
42	199.7543	7484.325	44	842.3963	7948.176	47	871.4723	8521.442
42	291.3346	7503.869	44	1189.684	8006.157	48	576.7995	8667.944
42	322.5002	7510.408	45	131.5459	7978.973	48	622.6995	8678.408
42	343.0002	7514.652	45	249.5116	8006.157	48	1042.628	8761.687

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

ภาคผนวก ง

ค่าคงที่

1 พาร์เซก (pc)	3.26 ปีแสง
1 ปีแสง (ly)	9.46072×10^{15} เมตร
ความเร็วแสง (c)	2.99792×10^8 เมตรต่อวินาที
ความเร็วโลก (v_e)	2.978×10^4 เมตรต่อวินาที
1 ปี (t)	31,557,600 วินาที
π	3.14159265

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายทัญญู แพทย์วงศ์

วัน เดือน ปี เกิด 1 มิถุนายน พ.ศ. 2528

ประวัติการศึกษา ปีการศึกษา 2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลงานตีพิมพ์ Patwong W., Komonjinda S. and A-Thano N., “Radial velocity observations of OB1d association in NGC 1977,” Journal of Physics: Conference Series, Vol. 901, 2017, ISSN: 17426588

ประสบการณ์ ปี 2552-ปัจจุบัน เจ้าหน้าที่สารสนเทศดาราศาสตร์
ศูนย์บริการสารสนเทศและสื่อสารทางดาราศาสตร์
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
rights reserved