



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae
(The Model of a Structure Close Binary System, DF Hydrae)

โดย

เชิดตระกูล หอมจำปา

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2553

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

แบบจำลองของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae
(The Model of a Structure Close Binary System, DF Hydrae)

โดย

เชิดตระกูล หอมจำปา

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2553

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

DF Hydrae เป็นระบบดาวคู่แบบประกกัน มีคาบวงโคจรบังกันประมาณ 0.3306 วัน โดยได้ทำการสังเกตการณ์ ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดริทชี-ครีเทียน (Ritchey-Chretien) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร พร้อมระบบซีซีดีโฟโตมิเตอร์ SBIG ST10-XME ขนาด 2184 x 1472 พิกเซล โดยใช้แผ่นกรองแสงแถบกว้างในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง จากการวิเคราะห์กราฟแสงโดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบดาวคู่ พบว่าลักษณะทางกายภาพระบบดาวคู่มีค่า degree of contact ประมาณ 2.91% และมีค่าอัตราส่วนมวล (q) เฉลี่ย 2.29479 ± 0.00767 จากการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปได้ว่า ระบบดาวคู่ DF Hydrae ประกอบด้วยดาวสองดวงที่มีค่าอุณหภูมิไม่ต่างกันมาก จัดเป็นดาวคู่แบบใกล้ชิดชนิดดับเบิลยู เออร์ซา เมเจอร์ และมีแบบจำลองโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบประกกัน

คำสำคัญ: ระบบควบคุมแบบใกล้ชิด แบบจำลองระบบควบคุม ระบบควบคุมอุปรการ ระบบควบคุมแบบใกล้ชิด ดีเอฟไฮดร

Research Title	The Model of a Structure Close Binary System, DF Hydrae
Researchers	Mr. Choedtrakool Homchampa
Department	Physics Faculty of Science Technology and Agricultural Yala Rajabhat University
Year	2553

Abstract

DF Hydrae is a a contact binary system with orbital period of about 0.3306 days. Observations were done at Princess Sirindhorn Observatory, Chiang Mai University. The 0.5 - meter Ritchey-Chretien reflecting telescope and CCD Photometer SBIG ST10-XME 2184 x 1472 pixels with standard blue, visual and red filters of UBV were used. Willson-Devinney program was used to analyze the light curve for computing a set of system's parameters. The solution shows that DF Hydrae is a contact binary system with a degree of contact of 2.91% and mass ratio (q) of 2.29479 ± 0.00767 . This would imply that the binary system DF Hydrae has W-type. The solution shows that DF Hydrae is a contact binary system.

Keywords : Close Binary System, Model of Binary System, Eclipsing binary System

Close binary system, DF Hydrae

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยแบบจำลองของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae (The Model of a Structure Close Binary System, DF Hydrae) สำเร็จและจัดพิมพ์เป็นรูปเล่มได้ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย ได้แก่ นางสาววิระภรณ์ ไหมทอง อาจารย์ประจำสาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลและเตรียมต้นฉบับ นายสมสวัสดิ์ รัตนสุรย์ นักวิทยาศาสตร์ประจำหน่วยวิจัยดาราศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยเก็บข้อมูลภาพถ่ายดาว ขอขอบคุณนางสาวทัศนียา ศิริเวช ที่ช่วยพิมพ์เอกสารและจัดเรียงรูปเล่มรายงานวิจัย ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

ขอขอบคุณอย่างสูง

ผู้วิจัย

สารบัญ

เรื่อง	หน้า	
บทคัดย่อภาษาไทย	ก	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข	
กิตติกรรมประกาศ		ค
สารบัญ		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1 บทนำ		
ปัญหาและความสำคัญของการวิจัย		1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย		2
ขอบเขตของการวิจัย		2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ		2
นิยามศัพท์เฉพาะ		3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		
หลักการ เหตุผล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย		
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง		14
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย		14
การรวบรวมข้อมูล		14
สถิติที่ใช้ในการวิจัย		15
การวิเคราะห์ข้อมูล		15
บทที่ 4 ผลการวิจัย		
การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน -เดวินนี่		19
การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาว คู่ DF Hydrae		21
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ		25
บรรณานุกรม		26

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า	
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก ข้อมูลกราฟแสงจากการสังเกตการณ์		28
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี		47
ภาคผนวก ค ข้อมูล $O-C$		95
ประวัติผู้วิจัย		100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	แสดงข้อมูลของดาวทั้งสามตาม Epoch ปี ค.ศ. 2000	16
4.1	แสดงชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด	19
4.2	แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ DF Hydrae	20
4.3	แสดง Time of Minimum Light ที่หาได้จากกราฟแสงของระบบดาวคู่แบบแต่ละกัน DF Hydrae ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง	21
ก-1	แสดงค่าเฟส, พลักซ์ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน	28
ก-2	แสดงค่าเฟส, พลักซ์ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง	33
ก-3	แสดงค่าเฟส, พลักซ์ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง	39
ค-1	แสดงค่า $O-C$	95

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	แสดงผิวห่อหุ้มของโรซซ์	5
2.2	แสดงการจำแนกชนิดของระบบดาวคู่ 3 ชนิด คือ ระบบดาวคู่แบบแยกกัน ระบบดาวคู่แบบกึ่งตะกัน และระบบดาวคู่แบบตะกัน	7
2.3	แสดงรูปสัณยัพื้นผิวของระบบดาวคู่แบบตะกัน	8
2.4	แสดงส่วนประกอบในกราฟแสงและการหา Epoch	9
3.1	แสดงภาพถ่ายดาว DF Hydrae ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง	16
3.2	แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน	17
3.3	แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง	17
3.4	แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีแดง	18
4.1	กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกต ในช่วงความยาวคลื่น สีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง	19
4.2	แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae	20
4.3	แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae ใน Roche Lobe	21
4.4	แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะกัน DF Hydrae	22
4.5	แสดงแผนภาพ Residual ของระบบดาวคู่ DF Hydrae	22

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ดวงดาวบนท้องฟ้ามากกว่าร้อยละ 50 เป็นดาวคู่ ซึ่งไม่ใช่เห็นเป็นดาวเพียงดวงเดียว ระบบดาวคู่ที่ปรากฏโดยทั่วไปนั้นมี 2 ลักษณะ คือ ระบบดาวคู่แบบมองเห็นแยกกัน (Visual Binaries System) ซึ่งสามารถมองเห็นเป็น 2 ดวง ได้อย่างชัดเจนกับอีกลักษณะหนึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Close Binaries System) ซึ่งจะมองเห็นเป็นดวงเดียวกันถึงแม้ว่าจะมองผ่านกล้องดูดาวขนาดใหญ่ก็ตามเพราะอยู่ใกล้กันมาก ดาวในระบบนี้จะโคจรหากันบางที่เรียกว่าระบบดาวคู่อุปราคา (Eclipsing Binaries System) ระบบดาวคู่อุปราคาบนท้องฟ้าจัดเป็นดาวแปรแสงประเภทหนึ่ง ซึ่งกลไกการแปรแสงเกิดจากการโคจรบังกันของดาวสองดวงในแนวสังเกตการณ์จากโลก นักดาราศาสตร์สามารถทำนายรูปร่าง คุณสมบัติ พฤติกรรม ตลอดจนวิวัฒนาการของระบบดาวคู่อุปราคาจากการวัดปริมาณแสงดาวที่แผ่ออกมาเทียบกับเวลาเพื่อนำมาสร้างกราฟแสง (Light Curve) ทำให้สามารถบ่งบอกถึงลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่อย่างคร่าวๆ และจำแนกระบบดาวคู่อุปราคาออกเป็น 3 ประเภทคือ ระบบดาวคู่อุปราคาแบบแยกกัน (Detached Binaries System) ระบบดาวคู่อุปราคาแบบกึ่งแยกกัน (Semi-detached Binaries System) และระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน (Contact Binaries System)

สำหรับระบบระบบดาวคู่ ดีเอฟ ไฮแดร (DF Hydrae) จัดเป็นระบบดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน มีตำแหน่งอยู่ที่ R.A. $08^h 55^m 02.243^s$ และ Dec. $06^\circ 05' 37.69''$ มีค่าโชติมาตรปรากฏ (Mv) คือ 10.739 ประกอบด้วยสมาชิก 2 ดวงที่เป็นดาวแคระ (Dwarfs) ที่มีขนาดและความสว่างพอๆ กัน และอาจจะมีวิวัฒนาการไปเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน ทำให้รูปร่างของดาวแต่ละดวงบิดเบี้ยวไปจากเดิม เมื่อพิจารณากราฟแสง พบว่ามีความโค้งอย่างสม่ำเสมอ และความลึกของอุปราคาปฐมภูมิกับอุปราคาทุติยภูมิจะมีความลึกพอๆ กัน ในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดใดๆ อาจสร้างผิวสมมติบริเวณระบบดาวคู่ดังกล่าว ซึ่งทุกจุดบนผิวสมมตินี้จะมีค่าศักย์เท่ากันหมด เรียกว่า ผิวสมมติศักย์ (Equipotential surface) ถ้าดาว 2 ดวงอยู่ใกล้กันมาก จนกระทั่งระยะห่างระหว่างดาวทั้ง 2 ดวงมีขนาดพอๆ กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวดวงใหญ่ ในกรณีนี้แรงโน้มถ่วงจะทำให้ผิวดาวทั้งคู่มีลักษณะบิดเบี้ยวจนมีรูปร่างคล้ายหยดน้ำตา ที่ระยะห่างออกมาผิวสมมติจะแตะกันที่จุดลากรางจ์ด้านใน (Inner lagrangian point) ทำให้เกิดแนวเส้นสมศักย์ที่มีรูปร่างแปด เรียกผิวห่อหุ้มนี้ว่า ผิวห่อหุ้มของโรชส์ (Roche lobes) สำหรับดาวคู่แบบแตะกัน ดาวทั้ง 2 ดวงจะขยายตัวเต็มผิวห่อหุ้มของโรชส์ และถ้าการขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดาวทั้งสองดวงจะหลอมรวมกันอยู่ในผิวห่อหุ้มร่วมที่มีรูปร่างคล้ายคัมเบล เมื่อดาวขยายตัวจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรชส์แล้วจะมีการถ่ายเทมวล (Mass transfer) จากดาวดวงหนึ่งผ่านจุดลากรางจ์ด้านในสู่ผิวห่อหุ้มของดาวอีกดวงหนึ่ง ซึ่งการถ่ายเท

มวลนี้จะทำให้คาบการโคจรของระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ถ้าคามมีค่าลดลงแสดงว่าดาวทั้งสองดวงจะอยู่ใกล้กัน มากขึ้นทุกขณะ ผลที่ตามมาก็คือ การหมุนรอบตัวเองของสมาชิกแต่ละดวงจะมีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเชิงมุมของการโคจรของระบบ คือ ก่อให้เกิดการหน่วงของสนามแม่เหล็ก อันเป็นผลจากทอร์กแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำระหว่างดาวฤกษ์ ทั้ง 2 ดวงจะทำให้โมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวคู่สูญเสีย (Angular momentum loss) อย่างต่อเนื่องวงโคจร ของดาวคู่จึงลดลงอีก ซึ่งผลจากการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมดังกล่าว อาจทำให้ระบบดาวคู่หลอมกลายเป็นดาวเดี่ยวในที่สุด ประเด็นดังกล่าวนี้เป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวิจัยเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่

การศึกษาโครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด ดิเอโก ไฮแดร ผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพเพื่อสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบเพื่ออธิบายถึงวิวัฒนาการของ ระบบดาวคู่ ดิเอโก ไฮแดร ซึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดชนิดดับเบิ้ลยู เออร์ซา เมเจอร์ โดยคาดว่าจะได้ข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับแบบจำลองโครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่ ดิเอโก ไฮแดร ประจำปี พ.ศ. 2553

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ DF Hydrae
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae
3. เพื่อสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยทางวิทยาศาสตร์เชิงทดลอง โดยมีขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

1. ศึกษา ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae
2. หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพเบื้องต้น และสร้างแบบจำลอง DF Hydrae
3. ศึกษาวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ DF Hydrae
4. ตรวจสอบการมีอยู่ของวัตถุที่สาม DF Hydrae

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลงานวิชาการทางด้านดาราศาสตร์เกี่ยวกับแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae
2. สามารถตีพิมพ์ผลงานวิจัยลงในวารสารงานวิจัยระดับชาติหรือนานาชาติได้
3. นำความรู้ที่ได้มาใช้ในการประกอบการสอนและการทำวิจัยของนักศึกษา

นิยามศัพท์เฉพาะ

ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด หมายถึง ระบบดาวคู่แบบตะกันในที่นี้คือระบบดาวคู่

DF Hydrae

โครงสร้างทางกายภาพ หมายถึง โครงสร้างแบบจำลองรูปร่างของระบบดาวคู่ จาก

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า i , g_1 , g_2 , Ω_1 , Ω_2 , Ω_{out} , Ω_{in}

, $T_1(K)$, $T_2(K)$, A_1 , A_2 , q , $L_{1B}/(L_1+L_2)_B$, $L_{1V}/(L_1+L_2)_V$, $L_{1R}/(L_1+L_2)_R$

และ Degree of Contact

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการ เหตุผล ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบวงโคจรของดาวคู่ นั้น อาจจะศึกษาโดยวิธีถ่ายภาพดาวด้วยซีซีดีโฟโตมิเตอร์ แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิลสัน -เดวินี่ สำหรับระบบดาวคู่ DF Hydrae อยู่ที่ตำแหน่ง R.A. $08^h 55^m 02.243^s$ และ Dec. $06^\circ 05' 37.69''$ มีค่าแมกนิจูดปรากฏในช่วงสว่างสุด คือ 10.739 ได้มีการศึกษาหลายครั้งเช่น Srivastava ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการบังกันของระบบดาวคู่ DF Hydrae โดยใช้ทฤษฎี least-squares คำนวณหาคาบการแปรแสงใหม่คือ 0.3306017 วัน และพบว่ามี การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1949 – 1974 อยู่ในช่วงจาก 0.46×10^{-6} วัน ถึง 0.46×10^{-5} วัน หรือเฉลี่ยประมาณ 1.89×10^{-6} วัน นอกจากนี้ยังพบว่าระบบดาวคู่นี้มีการเปลี่ยนแปลงคาบแบบเพิ่มขึ้น

Niarchos และคณะ ศึกษากราฟแสงที่ได้จากฟิลเตอร์ B และ V ของระบบดาวคู่ DF Hydrae ชนิด W UMa และสร้างแบบจำลองจากกราฟแสงสังเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมวิลสัน-เดวินี่ พบว่าระบบดาวคู่นี้มี spot ขนาดใหญ่ที่ดาวทั้งสองดวง และกราฟแสงที่ได้จะมีลักษณะที่ไม่สมมาตร ผลเฉลยที่ดีที่สุดแสดงให้เห็นว่าระบบดาวคู่นี้เป็นระบบดาวคู่ชนิด W

Samolyk ได้ทำการศึกษาคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ DF Hydrae โดยเปรียบเทียบ Times of minima กับ General Catalogue of Variable Stars (Kholopov et al. 1958) ได้สมการคือ

$$\text{GCVS} \quad \text{JD}_{\min} = 2431138.231 + 0.3305978E$$

$$\text{Samolyk} \quad \text{JD}_{\min} = 2442787.777 + 0.33060521E$$

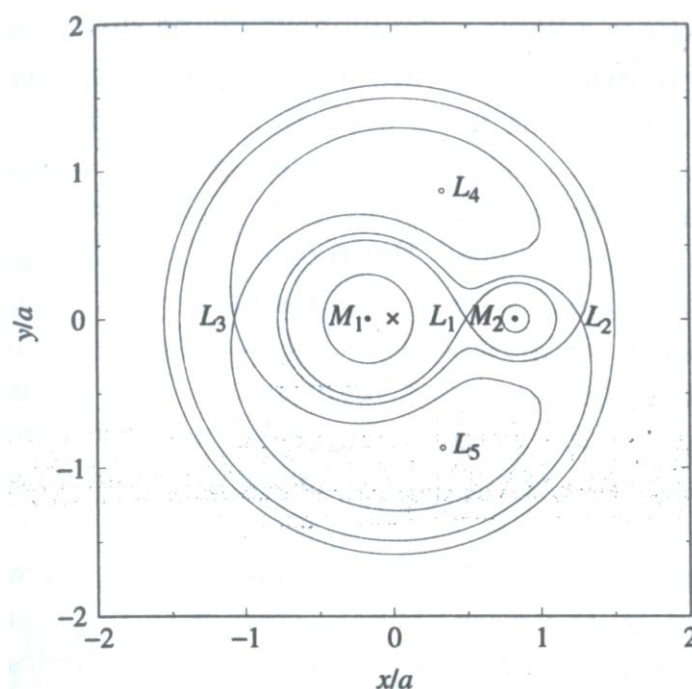
Zasche วิเคราะห์แผนภาพการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ DF Hydrae ที่ค่าโชติมาตร 10.7 อยู่ใน spectral type G0V พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซึ่งมีสาเหตุการจากการถ่ายเทมวลระหว่งดาวทั้งสองดวง และยังพบว่ามียอดที่สามอยู่ในระบบด้วย โดยมีมวล 0.84 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ จากการที่องค์ประกอบทางกายภาพมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในการวิจัยในแต่ละครั้ง จึงมีการวิเคราะห์ผลที่ได้กับทฤษฎีวิวัฒนาการคือ ระบบดาวคู่ชนิดดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ ประเภท W ที่อัตราส่วนมวลมีค่ามาก จะเป็นไปตามทฤษฎี TRO (Thermal Relaxation Oscillation) ซึ่งได้รับการเสนอขึ้นโดย Lucy ในปี 1976 และถ้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงระหว่งดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน (semidetached) กับแบบแตะกันเล็กน้อย (shallow contact) จะใช้ทฤษฎี DSC (contact discontinuity) ซึ่งมีการเสนอขึ้นในปี 1976 โดย Shu ทั้งทฤษฎี DSC และ TRO จะตั้งอยู่บนสมมติฐานของกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และในปี 1988 Guinan และ Bradstreet พบว่า ดาวคู่ชนิดดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ ที่มีอายุมากโดยเฉลี่ย 8-10 พันล้านปี จะต้องใช้ทฤษฎี AML (Angular

Momentum Loss) ซึ่งเกิดจากการบิดเบี้ยวของสนามแม่เหล็ก และเป็นสาเหตุให้ดาวคู่แบบแยกกัน มีวิวัฒนาการไปสู่ดาวคู่แบบแตกกัน

ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด (Close Binary System)

การจำแนกชนิดของดาวคู่แบบใกล้ชิดโดยอาศัยแบบจำลองของโรชส์ (Classification of Close Binaries Based on the Roche Model)

ในระบบดาวคู่ที่มีวงโคจรเป็นวงกลม ถ้าเราสร้างผิว (surface) ที่เป็นทรงกลมล้อมรอบดาวพบว่าแรงที่กระทำมีค่าเท่ากันตลอดผิวทรงกลม เรียกว่า Equipotential Surface เนื่องจากดาวมีการโคจรรอบกัน ทำให้ในระบบดาวคู่มีแรงอยู่สองแรง คือ แรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) และแรงสู่ศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ดังนั้นค่าความโน้มถ่วงลัพธ์ (Effective Gravity) พิจารณาได้จากค่าความโน้มถ่วงจริง และแรงสู่ศูนย์กลาง จุดที่แรงโน้มถ่วงลัพธ์มีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า จุดลากรางจ์ (Lagrangian Point) ซึ่งมีทั้งหมด 5 จุดคือ L_1 , L_2 , L_3 , L_4 และ L_5 โดยที่ Equipotential Surface ที่ผ่านจุด L_1 เรียกว่า Inner Critical Surface ซึ่งมีลักษณะคล้ายเลขแปดตะแคง แต่ละข้างของเลขแปดตะแคงเรียกว่า ผิวห่อหุ้มของโรชส์ (Roche Lobe) ดังรูป



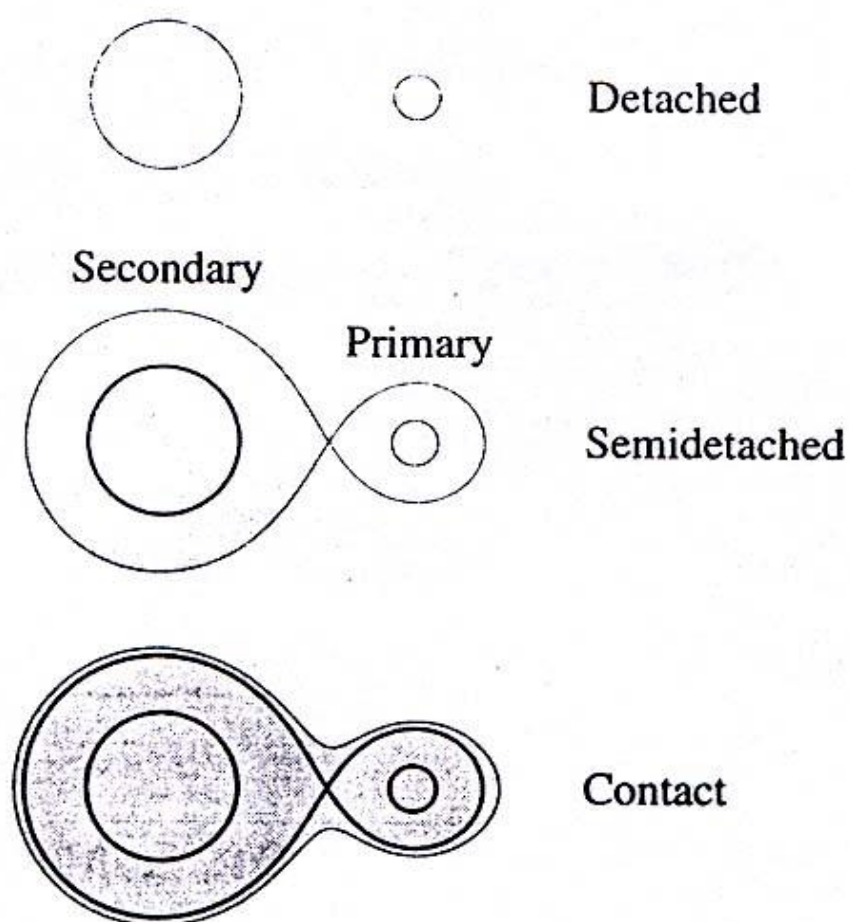
ภาพที่ 2.1 แสดงผิวห่อหุ้มของโรชส์

ในสภาวะที่บรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ของดาวเป็นผิวที่มีความหนาแน่นคงที่ ถือได้ว่าเป็น Equipotential Surface ตามแบบจำลองของโรชส์, โคปาล (Kopal) จึงจำแนกระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดตามแบบจำลองของโรชส์ ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. ประเภท Algol หรือเรียกว่าชั้น EA เป็นระบบดาวคู่แบบใกล้ชิดที่มีจำนวนมากที่สุด ประกอบด้วยสมาชิก 2 ดวงที่อยู่ห่างกันพอสมควร เป็นดาวคู่แบบแยกกัน (Detached Binaries) มีอุปราคาปฐมภูมิ (Primary Eclipse) ลึก แต่อุปราคาทุติยภูมิ (Secondary Eclipse) ตื้น แสดงว่าดาวปฐมภูมิสว่างกว่าดาวทุติยภูมิมาก กราฟแสงบริเวณนอกอุปราคา (Outside Eclipse) ก่อนข้างสม่ำเสมอ

2. ประเภท Beta Lyrae หรือเรียกว่าชั้น EB ระบบดาวคู่ประเภทนี้มีสมาชิกเป็นดาวยักษ์ (Giants) และดาวยักษ์ใหญ่ (Supergiants) ที่มีความหนาแน่นต่ำ และมีขนาดไม่เท่ากัน สมาชิกจะอยู่ใกล้กันมากจึงทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างกันมากจนทำให้ดาวมีรูปร่างรี (Oval Shape) เมื่อพิจารณากราฟแสงจะมีความโค้งสม่ำเสมอและอุปราคาทุติยภูมิจะเห็นชัดกว่าประเภท Algol มาก ในระบบดาวคู่ประเภทนี้จะมีสมาชิกดวงหนึ่งที่มีมวลเต็มผิวของโรซซ์ ส่วนอีกดวงไม่เต็ม ดังนั้นจะมีการถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) ระหว่างสมาชิกในระบบซึ่งเกิดจากการที่ดาวดวงหนึ่งมีวิวัฒนาการถึงขั้นที่เกิดสถานะไม่สมดุล เมื่อแรงดันภายในดาวมีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงจะส่งผลทำให้ชั้นบรรยากาศของดาวดวงนั้นขยายตัวขึ้น เมื่อขยายถึงจุดลากรางจ์ด้านใน (Inner lagrangian point, L_1) ด้วย แรงลัพท์ไม่เป็นศูนย์จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลระหว่างสมาชิกในระบบดาวคู่ได้ เรียกดาวคู่ประเภทนี้ตามแบบจำลองของโรซซ์ว่า “ระบบดาวคู่แบบกึ่งแยกกัน” (Semi-Detached Binary)

3. ประเภท W Uma หรือเรียกว่าชั้น EW เป็นดาวคู่แบบใกล้ชิดที่มีสมาชิกทั้งสองดวงเป็นดาวแคระ (Dwarfs) มีขนาดและความสว่างใกล้เคียงกันมาก สมาชิกทั้งสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนบางครั้งเป็นดาวคู่แบบติดกัน (Contact Binaries) รูปร่างของดาวทั้งสองจึงบิดเบี้ยวมาก เมื่อพิจารณากราฟแสงจะโค้งสม่ำเสมอ และความลึกของอุปราคาปฐมภูมิ กับอุปราคาทุติยภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน แต่จากการสังเกตการณ์จะพบความไม่สมมาตรของกราฟแสงในระบบดาวประเภทนี้มาก ทั้งนี้เนื่องจากดาวทั้งสองมีบรรยากาศร่วมกัน และระบบไม่อยู่ในสมดุลความร้อนจึงส่งผลให้ระบบต้องปรับสภาพเข้าสู่สมดุล จึงเกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างดาวสมาชิก ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของดาวทั้งสองไม่เท่ากัน โดยทั่วไปดาวสมาชิกทั้งสองจะมีชนิดสเปกตรัมอยู่ในระหว่าง F ถึง K โดยสมาชิกทั้งสองจะมีชนิดสเปกตรัมที่ใกล้เคียงกัน ระบบดาวคู่อุปราคาประเภท W Uma นี้ สามารถจำแนกออกได้เป็นสองชนิด คือ ชนิด A (A-Type) และชนิด W (W-Type) สำหรับชนิด A นั้น สมาชิกดวงที่สว่างและร้อนกว่าซึ่งถูกบังในช่วงเกิดอุปราคาทุติยภูมิ จะมีขนาดเล็กและมีมวลน้อยกว่าสมาชิกอีกดวง ส่วนชนิด W สมาชิกดวงที่สว่างและร้อนกว่า จะมีขนาดใหญ่และมีมวลมากกว่าสมาชิกอีกดวง นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบดาวคู่แบบแต่ละกันบางระบบมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมา ระหว่างชนิด A ชนิด W ได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.2 แสดงการจำแนกชนิดของระบบดาวคู่ 3 ชนิด คือ ระบบดาวคู่แบบแยกกัน ระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน และระบบดาวคู่แบบแตะกัน (-)

Degree of Contact

ระบบดาวคู่แบบแตะกัน สามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของการแตะกันได้จากสมการ

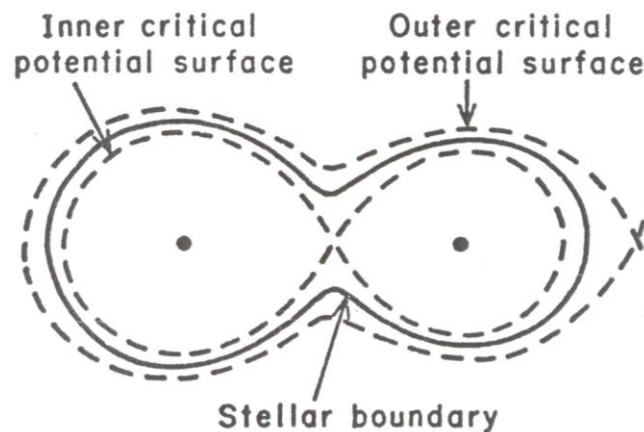
$$f = \frac{\Omega_{in} - \Omega}{\Omega_{in} - \Omega_{out}} \times 100\%$$

(2.1)

เมื่อ Ω คือ ศักย์ที่ผิว (surface potential)

Ω_{in} คือ ศักย์ที่ผิวด้านใน (inner surface potential)

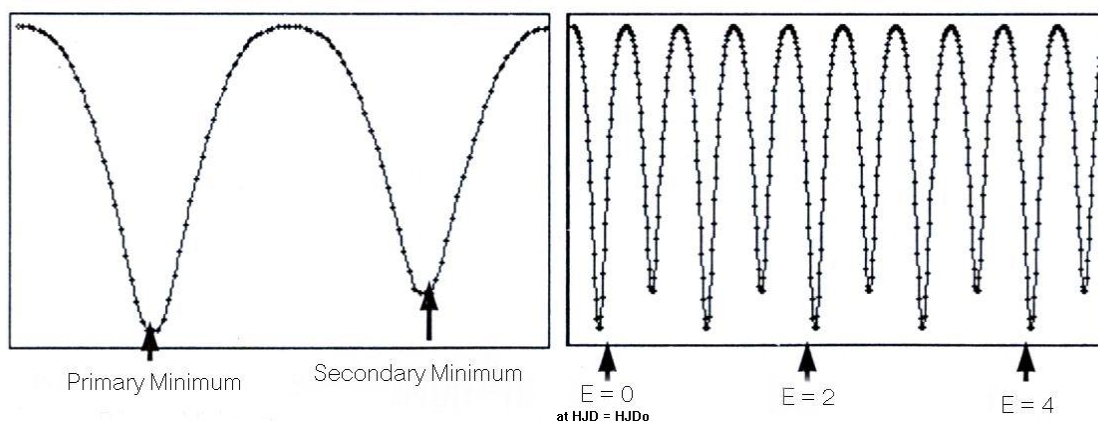
Ω_{out} คือ ศักย์ที่ผิวด้านนอก (outer surface potential)



ภาพที่ 2.3 แสดงรูปสัณยัพื้นผิวของระบบดาวคู่แบบแตกต่างกัน

การวิเคราะห์กราฟแสงของดาวคู่อุปราคาบชั้น

กราฟแสง (Light Curve) คือข้อมูลทางเวลาที่บันทึกการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของปริมาณแสงจากวัตถุท้องฟ้า ข้อมูลดังกล่าวจะบ่งชี้ถึงวิวัฒนาการของแสงจากวัตถุท้องฟ้านั้นตามเวลาที่ถูกบันทึก ดาวแปรแสงเป็นวัตถุท้องฟ้าที่นักดาราศาสตร์นิยมสังเกตการณ์ด้วยกราฟแสง โดยถ้าทราบว่าดาวแปรแสงดังกล่าวมีกลไกการแปรแสงอย่างไรก็สามารถทำนายโครงสร้างและแนวโน้มพฤติกรรมของดาวแปรแสงนั้นเมื่อเวลาต่างๆ ได้ สำหรับดาวคู่อุปราคาจัดเป็นดาวแปรแสงที่มีกลไกการแปรแสงจากการโคจรบังกัน ดังนั้นกราฟแสงที่สังเกตการณ์ได้จะบ่งบอกถึงแนวการโคจรของระบบจากการสังเกตการณ์บนโลก ลักษณะของกราฟแสงที่มีการลดลงของเส้นกราฟหมายถึงมีการโคจรบังกันระหว่างดาวตามแนวสังเกตจากโลก โดยถ้าดาวสมาชิกที่มีความสว่างมากกว่าโคจรไปอยู่ข้างหลังดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่า ลักษณะกราฟแสงที่สังเกตการณ์ได้ในเวลานั้นจะมีการลดลงของปริมาณแสงมาก (Minimum Light) การลดลงของปริมาณแสงขณะนั้นถูกเรียกว่าค่าต่ำสุดปฐมภูมิ (Primary Minimum: Min.I) ในทำนองเดียวกันถ้าดาวสมาชิกที่มีความสว่างน้อยกว่าถูกบัง กราฟแสงจะมีการลดลงด้วยปริมาณน้อยกว่าการลดลงของกราฟแสงที่ตำแหน่งอุปราคาปฐมภูมิ และถูกเรียกว่าค่าต่ำสุดทุติยภูมิ (Secondary Minimum : Min.II) การโคจรของระบบดาวคู่ในหนึ่งรอบจะมีการบังกันซึ่งทำให้เกิดปริมาณแสงลดลงสองครั้ง คือการลดลงของแสงจากอุปราคาปฐมภูมิและจากอุปราคาทุติยภูมิ ซึ่งเวลาที่ระบบดาวคู่ใช้ในการโคจรครบหนึ่งรอบโดยสมบูรณ์เรียกว่า คาบ (Period) ในทางปฏิบัติสามารถวัดคาบของระบบดาวคู่ดวงนั้นๆ ได้จากการวัดช่วงเวลาจากตำแหน่งอุปราคาปฐมภูมิ (ทุติยภูมิ) หนึ่งจนถึงอุปราคาปฐมภูมิ (ทุติยภูมิ) ถัดไป และนิยมวัดคาบของดาวคู่ในหน่วยวัน



ภาพที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบในกราฟแสงและการหา Epoch

ถ้าสังเกตการณ์กราฟแสงระบบดาวคู่คาบสั้นด้วยระยะเวลานาน กราฟแสงที่ได้จะมีค่าต่ำสุดหลายจุดซึ่งวนเป็นคาบตามการโคจรบ่งกันของระบบ ซึ่ง Time of Minimum ของกราฟแสงจะมีการแปรตามจำนวนเท่าของคาบตามสมการเชิงเส้นเอพริเมอร์ซิส (Linear Ephemeris Equation) ดังนี้

$$HJD = HJD_0 + PE \quad (2.2)$$

โดยที่ HJD คือ ค่า Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่งที่สนใจในรูปของวันจูเลียน-ศูนย์สุริยะ

HJD_0 คือ ค่า Time of Minimum ของกราฟแสงในตำแหน่ง $E=0$ ในรูปของวันจูเลียน-ศูนย์สุริยะ

P คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่

E คือ Epoch หรือจำนวนรอบของการโคจรของระบบดาวคู่

ซึ่งการนับ Epoch จะมีลักษณะดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$HJD \text{ (next eclipse)} = HJD_0 + P(1)$$

$$HJD \text{ (2}^{\text{nd}} \text{ eclipse)} = HJD_0 + P(2)$$

$$HJD \text{ (3}^{\text{rd}} \text{ eclipse)} = HJD_0 + P(3)$$

•
•
•

สำหรับการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบเชิงมุม จะใช้แผนภาพ $O-C$ โดยที่

$$O = HJD_0 + P(E)E \quad (2.3)$$

$$C = HJD_0 + P_{est}E \quad (2.4)$$

โดยที่ O คือ Time of Minimum Light ที่สังเกตการณ์ (Observe) ได้

C คือ Time of Minimum Light ที่ได้จากการคำนวณ (Calculate) โดยสมการเชิงเส้นเอพรีเมอริส

P_{est} คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ที่คำนวณได้จากสมการเชิงเส้นเอพรีเมอริส

$P(E)$ คือ คาบการโคจรจริงของระบบที่ได้จากการสังเกตการณ์

เมื่อนำสมการ (2.3) ลบด้วยสมการ (2.4) จะได้

$$O - C = (P(E) - P_{est})E \quad (2.5)$$

โดยถ้าแผนภาพ $O - C$ ที่ได้มีการกระจายแบบพาราโบลา จะได้ว่า

$$O - C = aE^2 + bE + c = (P(E) - P_{est})E \quad (2.6)$$

จากนั้นดิฟเฟอเรนเชียลสมการ (2.6) เทียบกับ E

$$\frac{dP}{dE}E + (P(E) - P_{est}) = 2aE + b \quad (2.7)$$

เทียบสัมประสิทธิ์ของทั้งสองข้างของสมการ ทำให้ได้

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dE} &= 2a \\ (P(E) - P_{est}) &= b \end{aligned} \quad (2.8)$$

ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ dP/dE (หน่วย days/cycle) จะใช้การพิจารณาแผนภาพ $O - C$ โดยการหาค่า a จากการใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method แล้วจึงแทนค่าในสมการ (2.8) ต่อไป

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้เป็นหลักฐานที่นำไปสู่ทฤษฎีเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองมุมมอง คือ

1. มุมมองจากทฤษฎี Angular Momentum Loss (AML)

ทฤษฎีนี้พิจารณาว่า วิวัฒนาการของระบบดาวคู่เกิดจากการที่ดาวสองดวงอยู่ใกล้กันมากจนมีการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมกันเป็นระบบดาวคู่แบบแยกกัน ต่อมาระบบดาวคู่นี้ได้วิวัฒนาการมาเรื่อยๆ ตั้งแต่การที่สมาชิกดวงที่หนึ่งกลายเป็นดาวยักษ์แดง มีการขยายตัวของชั้นบรรยากาศจนเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ กลายเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตะกัน เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างกันจนกระทั่งดาวทั้งสองมีอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากัน กลายเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน และในที่สุดก็จะค่อยๆ รวมกันเป็นดาวเดี่ยวที่มีอัตราการหมุนรอบตัวเองสูง โดยตลอดวิวัฒนาการจะมีการเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านทอร์กแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ซึ่งดาวทั้งสองจะมีระยะห่างระหว่างวงโคจรลดลง นั่นหมายถึงคาบการโคจรของระบบดาวจะมีค่าลดลงด้วย ดังนั้นระบบดาวคู่ที่มีแผนภาพ $O - C$ เป็นรูปพาราโบลาคว่ำ จึงเป็นหลักฐานที่รองรับทฤษฎีนี้

2. มุมมองจากทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO)

ทฤษฎีนี้เสนอขึ้นโดย Lucy ในปี ค.ศ. 1976, Flannery ในปี ค.ศ. 1976 และ Robertson และ Eggleton ในปี ค.ศ. 1979 โดยการพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เพิ่งจะแตกกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาว ทั้งสองนี้เปรียบเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก จะพบว่า มวลของดาวทั้งสองมีค่าต่ำกว่าดาวฤกษ์ในแถบกระบวนหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในสมดุลทางอุณหภูมิลแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งจะต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองดวงจึงจะอยู่ภายในผิวสมศักดิ์เดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มร่วม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวดวงที่หนึ่ง ทำให้ค่าอัตราส่วนมวลมีค่าลดลง

ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ จะพบว่า ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คาบการโคจรของดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ระยะทางระหว่างดาวทั้งสองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนดาวทั้งสองแยกออกจากกัน ดังนั้น จึงเกิดการเปลี่ยนประเภทของระบบดาวคู่จากระบบดาวคู่แบบติดกันไปเป็นระบบดาวคู่แบบกึ่งแตกกัน และกลับมาเป็นระบบดาวคู่แบบติดกันอีก สลับกันไปเรื่อยๆ

วัตถุที่สาม (Third Body)

ระบบดาวบางระบบ ประกอบด้วยสมาชิกมากกว่า 2 ดวงขึ้นไปเรียกว่า “ระบบดาวพหุ (Multiple Systems)” โดยพบว่าประมาณ 1 ใน 5 ของระบบดาวคู่ จะเป็นระบบดาวพหุ อย่างไรก็ตามดาวที่เพิ่มเข้ามาอาจเป็นดาวฤกษ์หรือดาวเคราะห์ก็ได้ และส่วนมากจะอยู่ห่างจากระบบดาวคู่เดิมพอสมควร ดังนั้นแม้ว่าจะได้รับแรงโน้มถ่วงจากระบบดาวคู่ แต่วงโคจรของดาวดวงที่สามดังกล่าวมักจะเสถียร และไม่ได้รับผลกระทบจากการวิวัฒนาการของระบบดาวคู่มากนัก

เมื่อพิจารณาคาบการโคจรของระบบดาวคู่เป็นเวลานานจะพบการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่นี้ในลักษณะที่เป็นคาบ ซึ่งมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม นอกจากนี้การมีอยู่ของสมาชิกดวงที่สามยังทำให้สมบัติบางประการของระบบดาวคู่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป เช่น มวลรวมจะประกอบไปด้วยมวลของสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ปริมาณแสงที่สังเกตการณ์ได้จะประกอบไปด้วยแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่หนึ่ง สอง และสาม ซึ่งปริมาณแสงที่มาจากสมาชิกดวงที่สามนั้นถือว่ามีค่าคงที่

ฟังก์ชันมวลสำหรับสมาชิกดวงที่สาม ($f(m)$) จึงเขียนได้เป็น

$$\frac{m_3^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \sin^3 i' = \frac{4\pi^2}{GP'^2} (a' \sin i')^3 \quad (2.9)$$

โดยที่ P' คือ คาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

a' คือ รัศมีวงโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

i' คือ มุมเอียงของระนาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่สามกับแนวสายตา

ดังนั้นถ้าแผนภาพ $O-C$ มีลักษณะเป็นคาบ หรือ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ในแผนภาพ จะสามารถหาสมการของฟังก์ชันคาบ (Periodic Function) มาอธิบายได้ โดยที่คาบของฟังก์ชันนี้จะมีค่าเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หามวลของสมาชิกดวงที่สามได้ต่อไป

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lucy และคณะ ได้เสนอแบบจำลองของระบบดาวคู่ผ่านทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation (TRO) โดยพิจารณาว่า ในระบบดาวคู่ที่เริ่มแตะกัน (Marginal Contact) จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างดาวทั้งสอง ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและรัศมีของดาวทั้งสองนี้ เมื่อเทียบกับดาวที่อยู่ในแถบกระบวนหลัก พบว่ามวลของดาวทั้งสองจะมีค่าต่ำกว่ามวลของดาวในแถบหลักที่อยู่ในสมดุล ดังนั้นถ้าดาวดวงหนึ่งอยู่ในแถบกระบวนหลักแล้ว ดาวอีกดวงหนึ่งต้องมีขนาดเล็กลง ดาวทั้งสองจึงจะอยู่ในผิวสัมผัสเดียวกันได้ นอกจากนี้อัตราการแผ่พลังงานของดาวดวงที่สองจะต้องมีค่าเท่ากับอัตราพลังงานที่ไหลผ่านไปยังผิวห่อหุ้มร่วม และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลไปยังดาวอีกดวงหนึ่ง ทำให้อัตราส่วนมวลมีค่าลดลง

อาทิตย์ ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบแตะกัน เอเอช ทอริ พบว่า การสังเกตการณ์ด้วยกล้องซีซีดีของระบบดาวคู่เอเอชทอริซึ่งเป็นระบบดาวคู่แบบแตะกัน ประเภท W UMa ได้ถูกนำเสนอพร้อมกับคำนวณหาค่า time of minimum light โดยแผนภาพ O-C ของการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรได้ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลสังเกตการณ์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลลัพธ์ได้แสดงให้เห็นว่าคาบการโคจรของดาวคู่เอเอชทอริมีการลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา $dP/dt = -0.01097786$ วินาทีต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณจากกลไกของทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมผ่านการหน่วงของสนามแม่เหล็ก และนำไปสู่วิวัฒนาการของระบบดาวคู่ในมุมมองใหม่ที่มีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

ธนา ได้ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่วี 1061 ทอไร จากการสังเกตการณ์ด้วยเทคนิคซีซีดีโฟโตเมทรี ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเหลือง ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 พบว่า อุปราคาปฐมภูมิ มีความลึกเพียง 0.35 โซติมาตร ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลืองได้กระทำร่วมกับข้อมูลของ Terrell และคณะ จากการวิเคราะห์กราฟแสงด้วยเทคนิควิลสันและเดวินีเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การโคจรของระบบดาวคู่ดังกล่าวได้แบบจำลองดาวคู่แบบแตะกันสองชุด โดยดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิขยายตัวใกล้และเต็มผิวห่อหุ้มของโรซซ์ตามลำดับแบบจำลองชุดที่หนึ่งเป็นระบบดาวคู่ที่มีค่าอัตราส่วนมวล

$q = 0.2289 \pm 0.01510$ และ $i = 70^\circ.93 \pm 0^\circ.490$ ในขณะที่แบบจำลองชุดที่สองมีค่า $q = 0.2944 \pm 0.01866$ และ $i = 72^\circ.58 \pm 1^\circ.973$ และแสดงแสงมีสามในปริมาณไม่มาก ส่วนการวิเคราะห์แผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ วี1061 ทอไรนี้ แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของคาบการโคจรซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการสูญเสียโมเมนตัมเชิงมุมของระบบ

วิระภรณ์ ได้ศึกษาสมบัติกายภาพของระบบดาวคู่แบบตะวันตก เอกซวาย ลีโอนิส ซึ่งมีคาบการโคจรรอบกันประมาณ 0.28410278 วัน จากการวิเคราะห์กราฟแสงโดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของระบบดาวคู่ดังกล่าว ผลจากการคำนวณได้แบบจำลองดาวคู่แบบตะวันตก โดยมีเปอร์เซ็นต์การตะวันตกประมาณ 0.5% และจากการวิเคราะห์ค่า O-C พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของคาบการโคจร และมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย การมีอยู่ของวัตถุที่สามที่มีคาบการโคจรประมาณ 18.78 ปี และมีรัศมีวงโคจรประมาณ 4.166 AU

เชิดตระกูล ได้ศึกษาโครงสร้างแบบจำลองทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด ซึ่งมีคาบการโคจรกันประมาณ 0.303 วัน พบว่าลักษณะทางกายภาพของระบบดาวคู่ ซีอี ลีโอนิส มีค่า degree of contact ประมาณ 3.24% และดาวปฐมภูมิ มีอุณหภูมิ 5,354 เคลวิน ส่วนดาวทุติยภูมิมีอุณหภูมิ 5,039 เคลวิน มีมุมเอียงเฉลี่ย 87.4 ± 0.4 องศาและมีค่าอัตราส่วนมวล (g) เฉลี่ย 1.99 ± 0.01 และจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลสรุปได้ว่า ระบบดาวคู่ซีอี ลีโอนิส ประกอบด้วยดาวสองดวง ดาวที่มีอุณหภูมิไม่ต่างกันมาก จัดเป็นดาวคู่แบบใกล้ชิดชนิดดับเบิลยู เออร์ชา เมเจอร์ และมีแบบจำลองโครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบตะวันตก (Contact binaries)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาแบบจำลองของระบบดาวคู่แบบ ใกล้ชิด DF Hydrae เป็นการวิจัยพื้นฐาน (Basic research) ที่มีลักษณะการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร : ระบบดาวคู่แบบเดียวกันที่สามารถสังเกตเห็นได้บนท้องฟ้าระหว่าง
เดือน มกราคม ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554
ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กลุ่มตัวอย่าง : ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น : ระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด DF Hydrae
ตัวแปรตาม : สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่ คาบการโคจร และ
แบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae
ตัวแปรควบคุม : กล้องซีซีดี โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล และ
แผ่นกรองแสงสำหรับการถ่ายภาพดาว

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดริทชี-เครเทียน (Ritchey-Chretien) ขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 0.5 เมตร $f/8.1$ ทำหน้าที่รวมแสงจากดวงดาว และกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ SBIG ST10-
XME ขนาด 1024x1024 พิกเซล ทำหน้าที่บันทึกภาพถ่ายดาวคล้ายฟิล์มถ่ายรูป และแผ่นกรองแสง
ระบบบีวีอาร์ (BVR System) เฉพาะสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง ทำหน้าที่กรองแสงดาวก่อนทะลุ
ผ่านไปยังกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์และสุดท้ายเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาและประมวลเอกสารที่เกี่ยวข้อง

- ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลพื้นฐานของระบบดาวคู่
- ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องสมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่
- ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร
- ศึกษาวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ในระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด

ขั้นตอนที่ 2 เก็บข้อมูลการทดลอง

1. ถ่ายภาพระบบดาวคู่ DF Hydrae ณ บริเวณดาดฟ้าอาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาและ ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. สร้างกราฟแสงโดย
 - 1) ทำการ Reduction ภาพถ่ายภาพ เพื่อลบสัญญาณรบกวน
 - 2) สร้างกราฟแสงโดยใช้เทคนิค Photometry

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลกราฟแสงของระบบดาวคู่มารวบรวมวิเคราะห์ ดังนี้

1. วิเคราะห์ผลการทดลอง ในประเด็นต่าง ๆ เช่น
 - 1.1 สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่
 - 1.2 การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร
2. สร้างแบบจำลอง
3. สรุปโครงสร้างกายภาพของระบบดาวคู่
4. สรุปและจัดทำรูปเล่ม

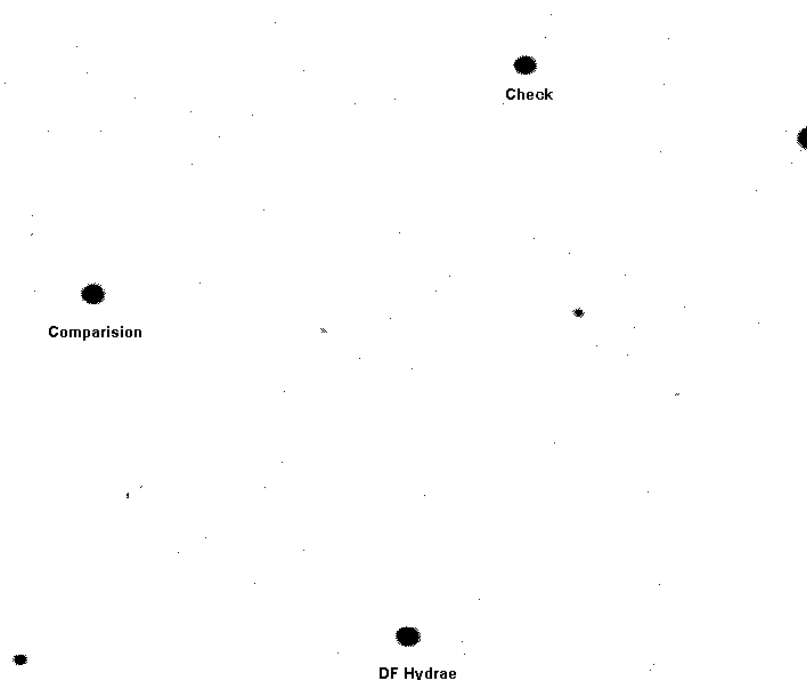
สถิติที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา

การวิเคราะห์ข้อมูล

การสังเกตการณ์เชิงแสงของระบบดาวคู่แบบแคชกัน DF Hydrae เพื่อหาข้อมูลกราฟแสงมีขึ้นในระหว่างเดือน มกราคม ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยใช้กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงชนิดริชชี-เกรเทียน (Ritchey-Chretien) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ต่อเข้าด้วยกล้องซีซีดีโฟโตมิเตอร์ SBIG ST10-XME ขนาด 2184x1472 พิกเซล โดยใช้แผ่นกรองแสงระบบ วีบีอาร์ (VBR System) เฉพาะสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง โดยใช้ TYC 225-943-1 และ GSC1 0225-00202 เป็นดาวเปรียบเทียบ (Comparison Star) และดาวตรวจสอบ (Check Star) ตามลำดับ ด้วยเวลาเปิดหน้ากล้อง 60 วินาทีต่อข้อมูล ได้ดังภาพที่ 3.1 เมื่อวัดพิกัดและความสว่างในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง ได้ข้อมูลดังแสดงในตาราง 3.1 ตาม epoch ปี ค.ศ. 2000

ข้อมูลการสังเกตการณ์ทางแสง

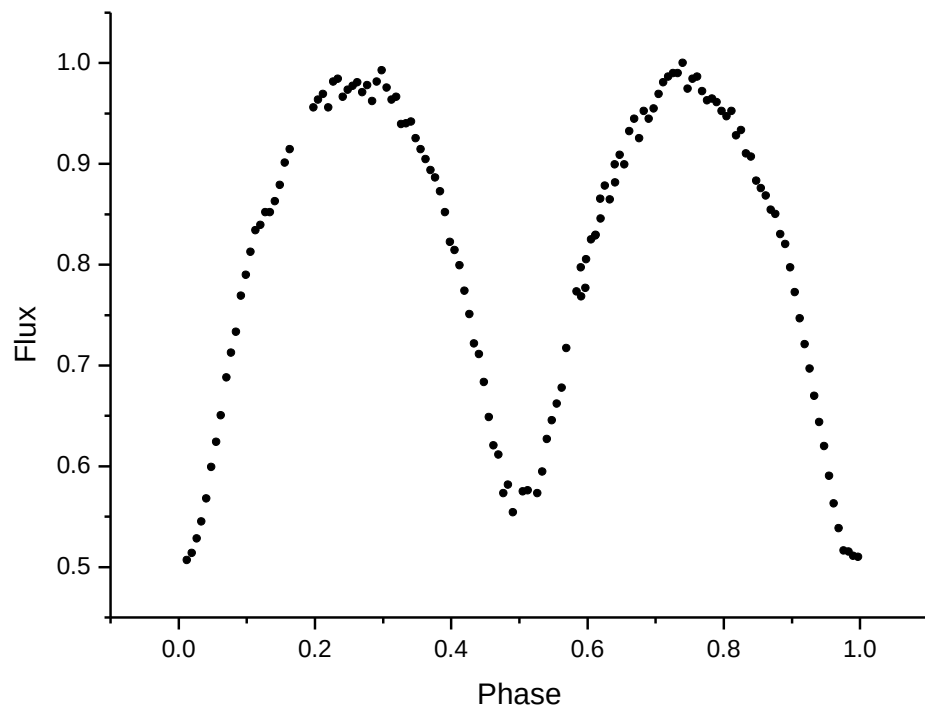


ภาพที่ 3.1 แสดงภาพถ่ายดาว DF Hydrae ในช่วงความยาวคลื่นเหลือง

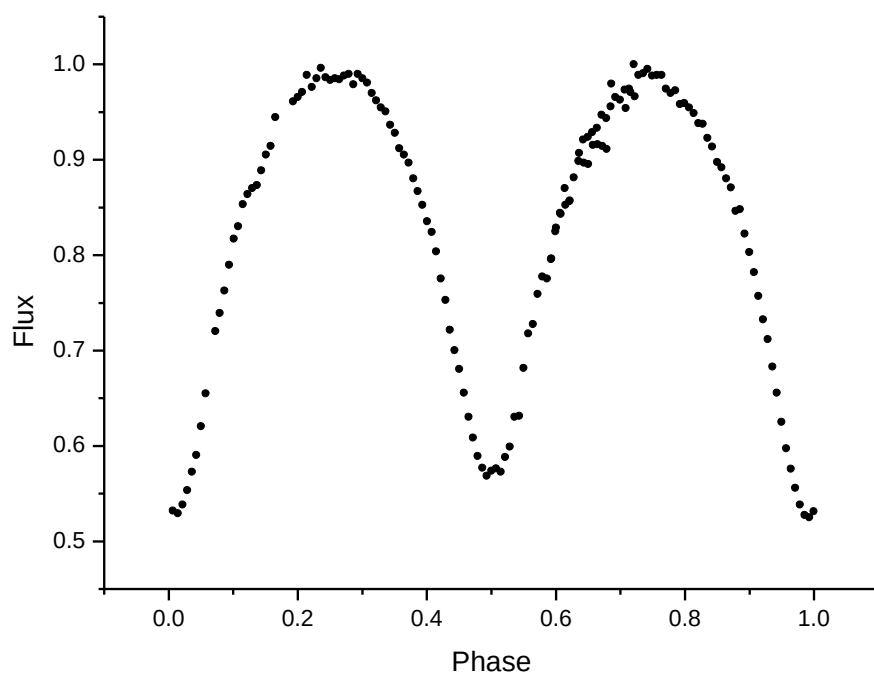
ตาราง 3.1 แสดงข้อมูลของดาวทั้งสามตาม epoch ปี ค.ศ. 2000

Star	α (2000)	δ (2000)	V
DF Hydrae	$08^{\text{h}} 55^{\text{m}} 02.243^{\text{s}}$	$06^{\circ} 05' 37.69''$	10.739
Comparison	$08^{\text{h}} 55^{\text{m}} 9.488^{\text{s}}$	$+06^{\circ} 09' 43.65''$	10.979
Check	$08^{\text{h}} 54^{\text{m}} 50.754^{\text{s}}$	$+06^{\circ} 10' 27.49''$	12.04

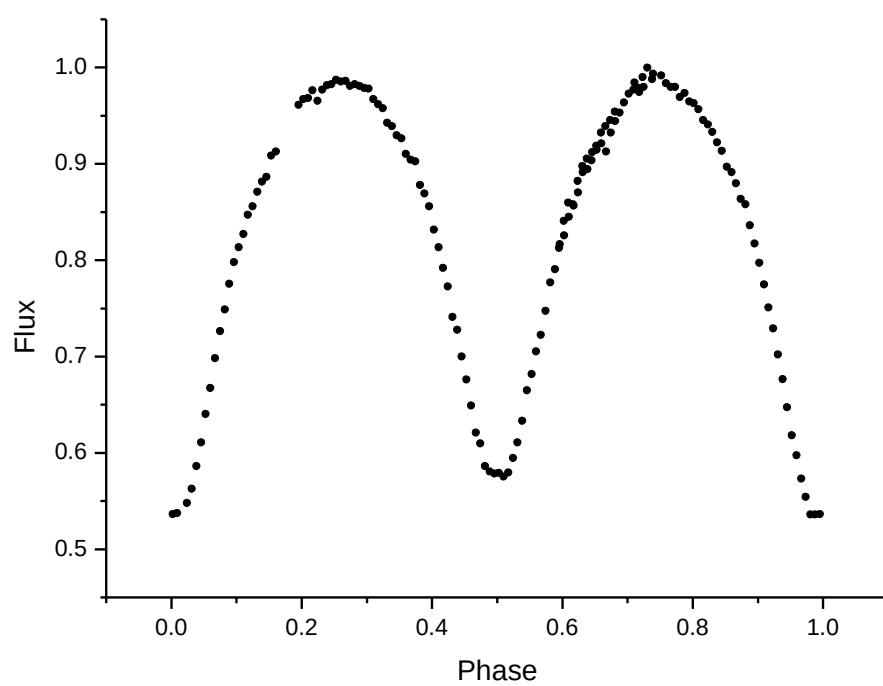
ข้อมูลภาพถ่ายที่สังเกตการณ์ได้ผ่านกระบวนการรีดักชันภาพ (Image Reduction) และ ขั้นตอนโฟโตเมตรี (Photometry) โดยโปรแกรม MaxIm3 เพื่อหาข้อมูลที่จะนำมาพล็อตกราฟแสง โดยสามารถสร้างกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง ได้ดังภาพที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ สำหรับความยาวคลื่นสีน้ำเงินใช้ 137 ข้อมูล สีเหลืองใช้ 152 ข้อมูล และสีแดง ใช้ 151 ข้อมูล (ดูข้อมูลที่จะนำมาพล็อตกราฟในภาคผนวก ก) ข้อมูลกราฟแสงที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หา ลักษณะทางกายภาพ และแบบจำลองของระบบดาวคู่นี้จากโปรแกรมวิลสัน-เดวินี และวิเคราะห์หา Time of Minimum เพื่อนำไปสร้างแผนภาพ O–C จากนั้นจึงหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบ การโคจรตลอดจนวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ต่อไป



ภาพที่ 3.2 แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน



ภาพที่ 3.3 แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง



ภาพที่ 3.4 แสดงกราฟแสงในช่วงความยาวคลื่นสีแดง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

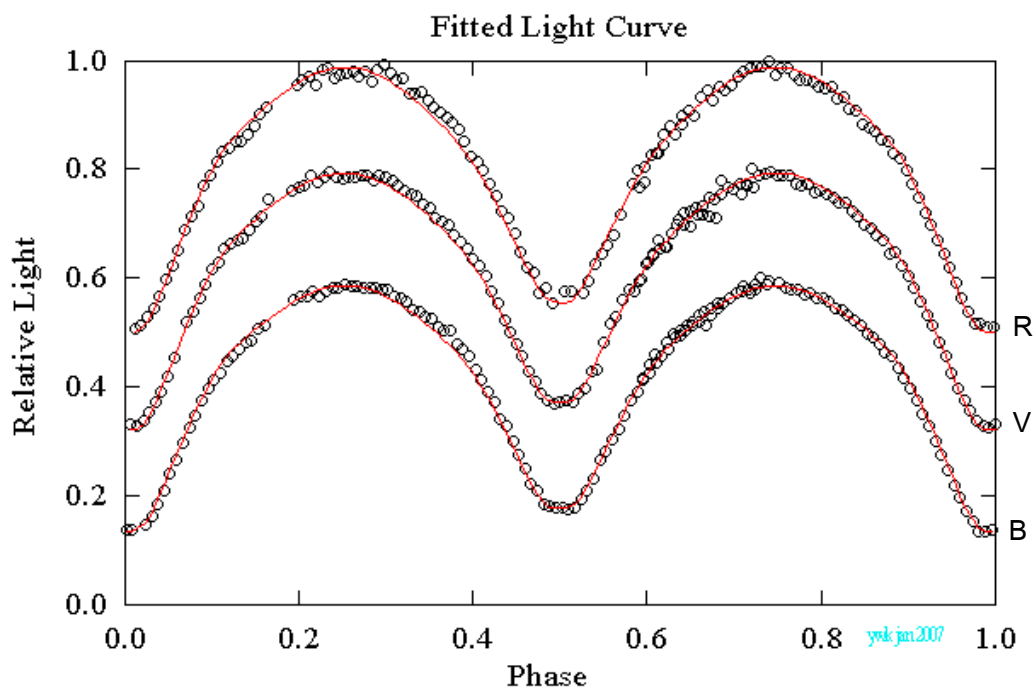
การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี่

จากผลการสังเกตการณ์ทางแสงที่ได้ในบทที่ 3 สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ และแบบจำลองของระบบดาวคู่ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี่ (รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ข) จะได้ชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดเพื่อสร้างกราฟแสงดังตาราง 4.1 และได้ชุดของพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae ดังตาราง 4.2 และจากพารามิเตอร์ในตาราง 4.2 สามารถสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ได้ดังภาพที่ 4.2 และสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae ในผิวห่อหุ้มของโรซซ์ ดังภาพที่ 4.3

ตาราง 4.1 แสดงชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

Mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	q	L_{1B}	L_{1V}	L_{1R}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
3	83.63	5775	5.5699	5.5699	2.2948	0.3794	0.3694	0.3600	0.0662	0.0642

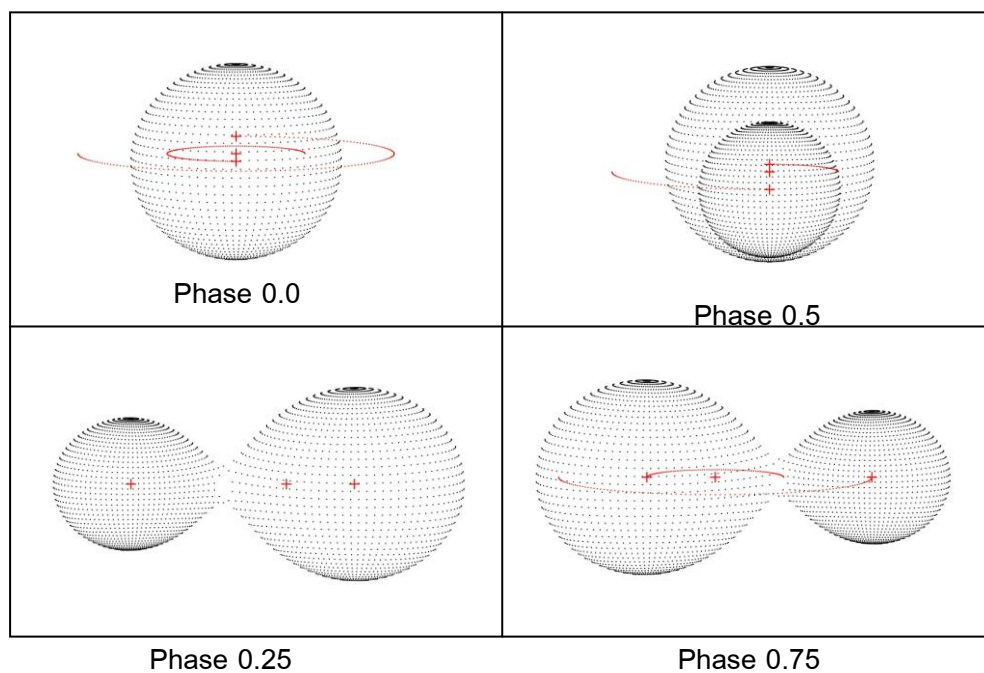
จากชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด สามารถสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ได้ดังภาพที่ 4.1



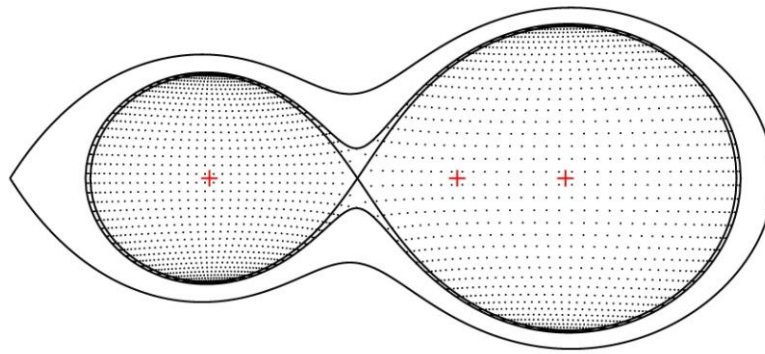
รูป 4.1 กราฟแสงสังเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกต ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B) สีเหลือง (V) และสีแดง (R)

ตาราง 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ DF Hydrae

พารามิเตอร์	คำตอบที่ดีที่สุด
i	$83.630^0 \pm 0.26194$
g_1	0.32
g_2	0.32
$\Omega_1 = \Omega_2$	5.56992 ± 0.01407
Ω_{out}	2.4891
Ω_{in}	5.6623
$T_1(\text{K})$	6000
$T_2(\text{K})$	5775 ± 5.48
A_1	0.50
A_2	0.50
q	2.29479 ± 0.00767
$L_{1B} / (L_1 + L_2)_B$	0.3794 ± 0.0195
$L_{1V} / (L_1 + L_2)_V$	0.3694 ± 0.0165
$L_{1R} / (L_1 + L_2)_R$	0.3600 ± 0.0138
Degree of Contact	2.91 %



ภาพที่ 4.2 แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae



ภาพที่ 4.3 แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ DF Hydrae ใน Roche Lobe

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบทางโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae สามารถทำได้โดยการนำกราฟแสงที่ได้จากบทที่ 3 มาวิเคราะห์หา Time of Minimum Light ได้ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 แสดง Time of Minimum Light ที่หาได้จากกราฟแสงของระบบดาวคู่แบบแตกต่างกัน DF Hydrae ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง

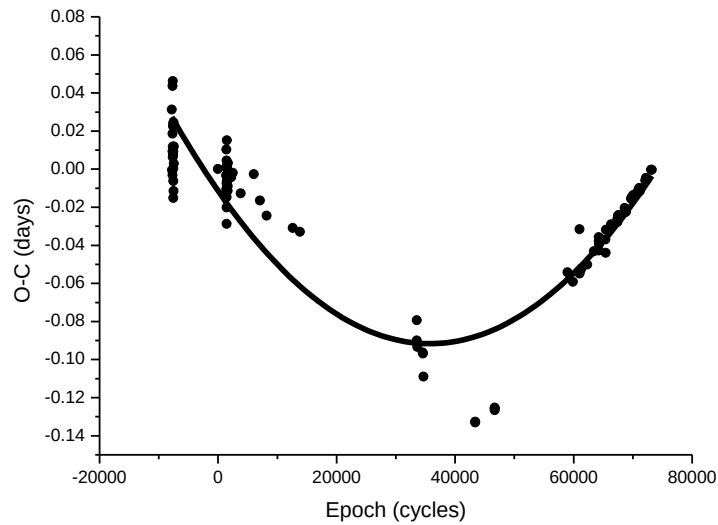
ช่วงความยาวคลื่น	Time of Minimum (HJD)	ชนิดของอุปกรณ์
สีน้ำเงิน	2454880.14524	ปฐมภูมิ
สีเหลือง	2454880.1453	ปฐมภูมิ
สีแดง	2454880.14519	ปฐมภูมิ
เฉลี่ย	2454880.1452	ปฐมภูมิ

จาก Linear Ephemeris ที่ Whitney B. S. คำนวณไว้ในปี ค.ศ. 1959

$$HJD.MinI = 2430676.883 + 0.3306005E \quad 4.1$$

แทนค่า Time of Minimum light (O) จากตาราง 4.3 เพื่อหาค่า Epoch และคำนวณค่า time of minimum light (C) จากสมการ 4.1 นี้ จะได้ค่า $(O - C)$ เท่ากับ -0.0004

ค่า $(O - C)$ ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้จะประกอบกับค่า $(O - C)$ ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่นๆ เคยทำไว้ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค) นำมาสร้างแผนภาพ $(O - C)$ ซึ่งจะได้ดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงแผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่แบบตะวันตก DF Hydrae

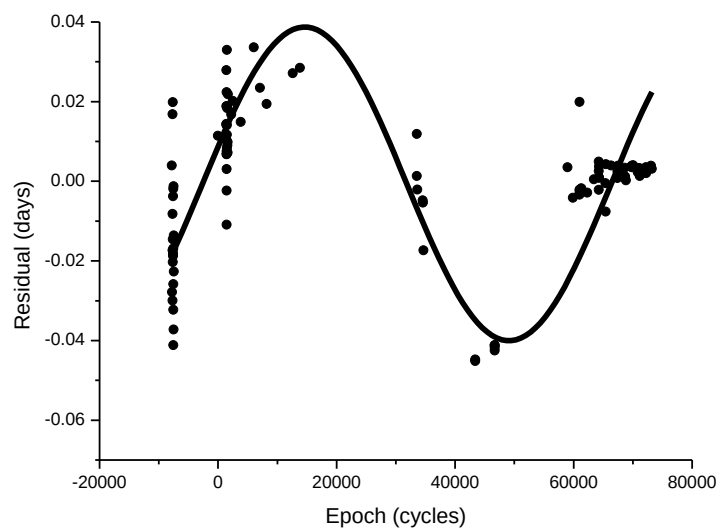
โดยเมื่อใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method ทำให้ได้สมการ

$$(O - C) = (-0.0114) - (4.48698 \times 10^{-6})Epoch + (6.27601 \times 10^{-11})Epoch^2 \quad (4.2)$$

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae จึงเท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dE} &= 2(6.27601 \times 10^{-12}) \quad \text{days / cycle} \\ &= 1.39 \times 10^{-7} \quad \text{วันต่อปี} \end{aligned}$$

และสามารถคำนวณหาค่า Residuals ได้จากผลต่างระหว่างค่า $(O - C)$ ที่ได้จากการคำนวณด้วย Linear Ephemeris ตามสมการ 4.1 และค่า $(O - C)$ ที่ได้จากการคำนวณด้วย Parabolic Ephemeris จากสมการ 4.2 ได้แผนภาพดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 แสดงแผนภาพ Residual ของระบบดาวคู่ DF Hydrae

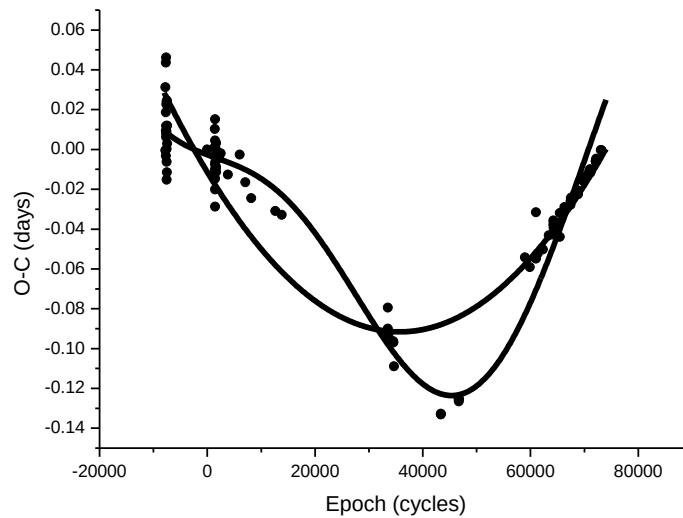
จากภาพที่ 4.5 จะเห็นว่าค่า Residuals ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน แต่มีแนวโน้มในลักษณะที่เป็นคาบ ดังนั้นจึงคาดว่าค่า Residuals นี้มีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบ และหา Periodic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับค่า Residuals ได้เป็น

$$\text{Residuals} = 0.0394 \sin((9.109 \times 10^{-5})\text{Epoch} + 0.241) - (6.50201 \times 10^{-4}) \quad (4.3)$$

นั่นคือ ค่า Residuals มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ที่มี Amplitude เท่ากับ 0.0394 วัน และมีความถี่ $f = (9.109 \times 10^{-5}) / 2\pi$ สามารถหาค่า light time ได้จาก Amplitude โดยแปลงจากหน่วยวันให้เป็นวินาทีแล้วคูณด้วยความเร็วแสง จะได้เป็นระยะทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.808 AU และสำหรับความถี่สามารถนำไปคำนวณหาคาบได้ โดยที่ $P = 1 / f$ แต่ค่า P ที่ได้นี้จะมีหน่วยเป็นรอบ ต้องนำ P มาคูณด้วยความคาบการโคจรของดาวคู่ ซึ่งคำนวณคาบ P ได้ประมาณ 62.43 ปี

เมื่อรวมสมการ Parabolic Ephemeris เข้ากับสมการ Periodic Ephemeris จะได้

$$(O - C) = (-0.0120) - (4.48698 \times 10^{-6})\text{Epoch} + (6.27601 \times 10^{-11})\text{Epoch}^2 + 0.0394 \sin((9.109 \times 10^{-5})\text{Epoch} + 0.241) \quad (4.4)$$



ภาพที่ 4.5 แสดงแผนภาพ $O - C$ ของระบบดาวคู่แบบตะก้น DF Hydræ

เมื่อ fit แบบ quadratic + sinusoidal

การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรในลักษณะที่เป็นคาบนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการมีอยู่ของสมาชิกดวงที่สามในระบบ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาฟังก์ชันมวล

$$f(m) = \frac{m_3^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \sin^3 i' = \frac{4\pi^2}{GT^2} (a' \sin i')^3 \quad (4.5)$$

โดยที่ a' คือ รัศมีวงโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

i' คือ มุมเอียงของระนาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่สามกับแนวสายตา

c คือ ความเร็วแสง

T คือ คาบของ Periodic Ephemeris ซึ่งเท่ากับคาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สาม

ดังนั้นเมื่อแทนค่าที่ได้จาก Periodic Ephemeris ของระบบดาวคู่ DF Hydrae ลงไปในสมการที่ (4.5) และใช้ค่ามวลของดาวปฐมภูมิ และดาวทุติยภูมิที่ได้จากงานวิจัยของ Cook, A. F. (1948) กล่าวคือ ผลรวมของมวลของดาวปฐมภูมิ และดาวทุติยภูมิของระบบดาวคู่ DF Hydrae มีค่าเท่ากับ 2.27 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ ตามลำดับ ถ้าให้สมาชิกดวงที่สามโคจรอยู่ในระนาบเดียวกันกับสมาชิกอีกสองดวง นั่นคือ มุมเอียงของระนาบวงโคจรของสมาชิกดวงที่สามมีค่าเท่ากับมุมเอียงของระนาบวงโคจรของสมาชิกอีกสองดวง หรือมีค่าประมาณ 83.63 องศา จะได้มวลของสมาชิกดวงที่สามนี้มีค่าเท่ากับ 0.78 เท่าของมวลดวงอาทิตย์

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

สรุปผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ระบบดาวคู่ DF Hydrae ณ หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน สีเหลือง และสีแดง พบว่ามีคาบการโคจรบังกันประมาณ 0.3306005 วัน จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี ได้แบบจำลองของระบบดาวคู่แบบตะวันตก โดยดาวปฐมภูมิมีอุณหภูมิ 6000 K ดาวทุติยภูมิมีอุณหภูมิ 5775 K มีระนาบมุมเอียงประมาณ 8.3630° มีอัตราส่วนมวลที่คำนวณได้เป็น 2.29479 จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.39×10^{-7} วันต่อปี ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างดาวทั้งสอง และเนื่องจากมีค่า Degree of Contact ประมาณ 2.91% จึงเป็นไปได้ว่าระบบดาวคู่ DF Hydrae นี้อยู่ในช่วงของ Marginal Contact ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillation

นอกจากนี้ ยังพบว่า การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรนี้มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบซ้อนอยู่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า มีวัตถุที่สามอยู่ในระบบดาวคู่ DF Hydrae นี้ด้วย และจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบนี้ จะได้คาบการโคจรของสมาชิกดวงที่สามมีค่าประมาณ 62.43 ปี และมีระยะห่างจากศูนย์กลางมวลของระบบในแนวสังเกตการณ์ประมาณ 6.808 AU ถ้าให้สมาชิกดวงที่สามโคจรเป็นวงกลม จะคำนวณมวลของสมาชิกดวงที่สามนี้ได้ประมาณ 0.78 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ ซึ่งดาวดวงที่สามนี้อาจจะไม่ใช่ดาวเคราะห์ แต่อาจจะเป็นดาวฤกษ์ได้ เพราะมีมวลค่อนข้างมาก

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยนี้ พบว่าการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae ทำให้เกิดความสงสัยในประเด็นที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนดาวดวงอื่นที่อยู่ในระบบดาวคู่แบบตะวันตก อาทิเช่น AH Tau, V837 Her, CU Tau, TV Mus, IK Per และ V714 Mon เป็นต้น จะให้ผลที่คล้ายคลึงหรือแตกต่างกันอย่างไร หากมีผู้สนใจที่จะศึกษาเพื่อความกระจ่างชัดในประเด็นนี้

บรรณานุกรม

- เชิดตระกูล หอมจำปาและสุนิตย์ โจรนสุวรรณ. 2548. *เทคนิคการถ่ายภาพทางดาราศาสตร์*, รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- เชิดตระกูล หอมจำปา. 2552. *โครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบใกล้ชิด*, รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- ธนา ยีรัมย์. 2548. *โครงสร้างทางกายภาพของระบบดาวคู่วี 1061 ทอไร*. รายงานวิทยานิพนธ์. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- บุญรักษา สุนทรธรรม และคณะ. 2546. *การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและวิวัฒนาการของระบบดาวคู่แบบเกือบแตะกันบางระบบ*. รายงานวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- บุญรักษา สุนทรธรรม . 2550. *ดาราศาสตร์ฟิสิกส์*. สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- วิระภรณ์ ไหมทอง. 2548. *สมบัติทางกายภาพของระบบดาวคู่แบบแตะกัน เอกซ์วาย ลีโอนิส*. รายงานวิจัย. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- อาทิตย์ ลภีรัตนกุล. 2545. *การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่แบบแตะกัน เอเชทอวี*. รายงานวิทยานิพนธ์. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Lucy, L.B. 1678. The Struvture of Contacy Binaries, *Astron. ApJ*. 151, 1123-1135
- Niarchos, P., Hoffmann, M. and Duerbeck, H.W., DF Hydrae: a W UMa system with spotted component, *A&A*, 1992, **258**, 323.
- Qian, S., Lui, Q., Yang, Y., Yuan, L., Changes in the Orbital Period of the Near-contact Binary BF Vir. *CAA.*, 2000, **24**, 331.
- Samolyk, G., A Period Update for Five Eclipsing Binary Stars – SS Ari, TY Boo, DF Hya, Z Lep and TY UMa, *AAVSO*, 1992, **21**, 111.
- Srivastava, R.K., Period Changes in DF Hydrae, *Ap&SS*, 1991, **181**, 15
- Wilson, R., Devinney, E., Fundamental Data for Contact Binaries: RZ Com, RZ Tau and AW UMa. *A.J.*, 1973, **182**, 539.
- Zasche, P. et al., Period Change in Six Contact Binary: WZ And, V803 Aql, DF Hya, PY Lyr, FZ Ori and AH Tau, *Ap.J.*, 2008, **Preprint**.
- Zasche P., Liakos A., Niarchos P., Wolf M., Manimanis V.& Gazeas K. 2009, *New Astronomy*, **14**, 121

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลกราฟแสงจากการสังเกตการณ์

ตาราง ก-1 แสดงค่าเฟส พลิกซ์ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.01	0.590064516	11.297	0.797258765
2454880.012	0.597233043	11.325	0.776961149
2454880.017	0.611509691	11.255	0.828703747
2454880.019	0.618647999	11.208	0.865364954
2454880.022	0.625786308	11.192	0.87821187
2454880.024	0.632894339	11.209	0.86456829
2454880.026	0.640032678	11.166	0.899496137
2454880.029	0.647171016	11.155	0.90865559
2454880.031	0.654309326	11.166	0.899496137
2454880.033	0.661417356	11.127	0.932393641
2454880.036	0.668555695	11.113	0.944494216
2454880.038	0.675724221	11.135	0.925548759
2454880.04	0.68286256	11.104	0.952355957
2454880.043	0.689940374	11.113	0.944494216
2454880.045	0.697108961	11.101	0.954991053
2454880.047	0.704247269	11.085	0.969168528
2454880.05	0.711385578	11.072	0.980842561
2454880.052	0.718493608	11.066	0.986277902
2454880.055	0.725631947	11.062	0.989918186
2454880.057	0.732770225	11.062	0.989918186
2454880.059	0.739908564	11.051	0.999998394
2454880.062	0.747046903	11.079	0.974539177
2454880.064	0.754154965	11.068	0.984462783
2454880.066	0.761293243	11.066	0.986277902
2454880.069	0.768431582	11.082	0.971850143

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.071	0.775600108	11.092	0.962940167
2454880.073	0.782708199	11.09	0.964715603
2454880.076	0.789846509	11.094	0.961167998
2454880.078	0.796984787	11.104	0.952355957
2454880.08	0.804123126	11.11	0.947107559
2454880.083	0.811231217	11.104	0.952355957
2454880.085	0.818369495	11.132	0.928109681
2454880.088	0.825507834	11.126	0.933252802
2454880.09	0.832646143	11.153	0.910330938
2454880.092	0.839754174	11.157	0.906983325
2454880.095	0.84749747	11.186	0.883078483
2454880.097	0.854635748	11.195	0.87578863
2454880.1	0.861743839	11.204	0.868558956
2454880.102	0.868882117	11.222	0.854278158
2454880.104	0.876020456	11.227	0.850353107
2454880.107	0.883158766	11.253	0.830231683
2454880.109	0.890266796	11.266	0.820350227
2454880.111	0.897405135	11.297	0.797258765
2454880.114	0.904543474	11.331	0.772679345
2454880.116	0.911712	11.368	0.746791391
2454880.118	0.918820091	11.406	0.721106321
2454880.121	0.9259584	11.443	0.696946277
2454880.123	0.933096679	11.486	0.669883534
2454880.125	0.940235018	11.529	0.643871649
2454880.128	0.947373296	11.57	0.620010869
2454880.13	0.954481387	11.623	0.590471992
2454880.133	0.961619696	11.675	0.562858596

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.135	0.968758004	11.723	0.538516857
2454880.137	0.975896314	11.769	0.516177777
2454880.14	0.983034653	11.771	0.515227817
2454880.142	0.990142683	11.78	0.510974589
2454880.144	0.99731127	11.782	0.510034205
2454880.149	0.012253309	11.789	0.506756471
2454880.152	0.019391588	11.774	0.513806155
2454880.154	0.02649971	11.744	0.528201102
2454880.156	0.033637988	11.71	0.545003514
2454880.159	0.040776327	11.665	0.568066662
2454880.161	0.047914605	11.607	0.59923794
2454880.163	0.055052944	11.563	0.62402114
2454880.166	0.062191223	11.518	0.650428111
2454880.168	0.069994984	11.457	0.688017212
2454880.171	0.077133323	11.419	0.712523681
2454880.173	0.084301849	11.388	0.733160912
2454880.175	0.091440188	11.336	0.769129205
2454880.178	0.098578467	11.307	0.789949453
2454880.18	0.105686528	11.276	0.812829211
2454880.183	0.112824867	11.248	0.834063858
2454880.185	0.119963145	11.241	0.839458639
2454880.187	0.127131732	11.225	0.851920959
2454880.19	0.13427001	11.225	0.851920959
2454880.192	0.141408349	11.211	0.862977162
2454880.194	0.148576876	11.191	0.879021106
2454880.197	0.155715215	11.164	0.901154598
2454880.199	0.162944267	11.148	0.914532835

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.211	0.19766788	11.1	0.955871037
2454880.213	0.204836467	11.091	0.963827476
2454880.215	0.211974806	11.085	0.969168528
2454880.218	0.219597019	11.1	0.955871037
2454880.22	0.226735358	11.071	0.981746367
2454880.223	0.233873637	11.068	0.984462783
2454880.225	0.241011975	11.088	0.966494313
2454880.227	0.248150285	11.08	0.973642007
2454880.23	0.255318841	11.076	0.977235652
2454880.232	0.262457119	11.072	0.980842561
2454880.234	0.269595489	11.083	0.970955448
2454880.237	0.276733797	11.075	0.978136134
2454880.239	0.283872106	11.093	0.962053675
2454880.241	0.291010385	11.071	0.981746367
2454880.244	0.298148724	11.059	0.992657213
2454880.246	0.305256754	11.078	0.975437174
2454880.249	0.312395093	11.091	0.963827476
2454880.251	0.319533402	11.088	0.966494313
2454880.253	0.326701958	11.119	0.939289144
2454880.256	0.333840268	11.118	0.940154659
2454880.258	0.340978576	11.116	0.941888084
2454880.26	0.348116885	11.135	0.925548759
2454880.263	0.355255163	11.148	0.914532835
2454880.265	0.362393502	11.16	0.904480697
2454880.267	0.369531781	11.173	0.893715526
2454880.27	0.37667012	11.182	0.886337864
2454880.272	0.383778181	11.199	0.872568042

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.274	0.390916459	11.225	0.851920959
2454880.277	0.398054798	11.263	0.822620073
2454880.279	0.405223325	11.274	0.814327878
2454880.282	0.412361663	11.294	0.799464719
2454880.284	0.419469694	11.329	0.774103984
2454880.286	0.426608033	11.362	0.750929737
2454880.289	0.433746342	11.405	0.721770791
2454880.291	0.44088462	11.421	0.711212372
2454880.293	0.448022959	11.464	0.683595669
2454880.296	0.45513105	11.521	0.648633392
2454880.298	0.462269329	11.569	0.620582183
2454880.3	0.469407668	11.585	0.611504001
2454880.303	0.476515729	11.655	0.573322918
2454880.305	0.483654007	11.639	0.581834277
2454880.307	0.490792346	11.692	0.554114229
2454880.312	0.505038686	11.652	0.574909259
2454880.315	0.512207273	11.65	0.575969257
2454880.319	0.52648389	11.655	0.573322918
2454880.322	0.53359192	11.615	0.594838819
2454880.324	0.540730259	11.558	0.626901491
2454880.326	0.547868538	11.526	0.645653192
2454880.329	0.555006877	11.499	0.661910549
2454880.331	0.562145186	11.473	0.677952556
2454880.333	0.569253216	11.412	0.717132331
2454880.338	0.58386259	11.33	0.773391336
2454880.341	0.590970621	11.337	0.768421137
2454880.343	0.59810896	11.286	0.805377148

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.345	0.605247238	11.26	0.8248962
2454880.348	0.612355299	11.254	0.829467363
2454880.35	0.619493638	11.233	0.845666842
2454880.357	0.640878317	11.188	0.881453289

ตาราง ก-2 แสดงค่าเฟส พัลส์ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.01	0.59224227	10.638	0.79579211
2454880.013	0.599380609	10.599	0.82489682
2454880.015	0.606518888	10.574	0.84411114
2454880.018	0.613657227	10.541	0.87016103
2454880.02	0.620795536	10.558	0.85664252
2454880.022	0.627903566	10.527	0.88145395
2454880.025	0.635072153	10.506	0.89866873
2454880.027	0.642210492	10.479	0.92129694
2454880.029	0.64934877	10.476	0.9238461
2454880.032	0.656456861	10.47	0.92896559
2454880.034	0.663595171	10.465	0.9332535
2454880.036	0.670733479	10.449	0.94710827
2454880.039	0.677871788	10.453	0.94362541
2454880.041	0.684979818	10.439	0.95587176
2454880.044	0.692118157	10.428	0.96560527
2454880.046	0.699256496	10.431	0.96294089
2454880.048	0.706394805	10.419	0.97364274
2454880.051	0.713502836	10.418	0.97453991
2454880.053	0.720641175	10.39	0.99999915
2454880.055	0.727779453	10.402	0.9890076
2454880.058	0.73494804	10.4	0.9908311

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.06	0.742086318	10.395	0.99540457
2454880.062	0.74919444	10.403	0.98809711
2454880.065	0.756332748	10.402	0.9890076
2454880.067	0.763471058	10.402	0.9890076
2454880.069	0.770579088	10.418	0.97453991
2454880.072	0.777717427	10.423	0.97006231
2454880.074	0.784855736	10.42	0.97274639
2454880.077	0.791994044	10.436	0.95851658
2454880.079	0.799132353	10.435	0.95939981
2454880.081	0.806240444	10.44	0.95499177
2454880.084	0.813378723	10.447	0.94885452
2454880.086	0.820517062	10.459	0.93842513
2454880.088	0.827685588	10.46	0.93756121
2454880.091	0.834793679	10.477	0.9229956
2454880.093	0.841931988	10.488	0.91369159
2454880.096	0.849645005	10.507	0.8978414
2454880.098	0.856753067	10.514	0.89207143
2454880.1	0.863891345	10.528	0.88064248
2454880.103	0.871059932	10.54	0.87096285
2454880.105	0.87819821	10.571	0.84644673
2454880.107	0.885306301	10.569	0.84800738
2454880.11	0.89244461	10.602	0.82262069
2454880.112	0.899582949	10.628	0.80315548
2454880.114	0.90669098	10.657	0.78198717
2454880.117	0.913829319	10.692	0.75718086
2454880.119	0.920967597	10.728	0.73248651
2454880.122	0.928105936	10.759	0.71186826

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.124	0.935244245	10.804	0.68296686
2454880.126	0.942352276	10.848	0.65584261
2454880.129	0.949490615	10.9	0.62517216
2454880.131	0.956659141	10.949	0.59758492
2454880.133	0.96379748	10.989	0.57596969
2454880.136	0.970935758	11.027	0.55615984
2454880.138	0.978074097	11.062	0.53851726
2454880.14	0.985182158	11.084	0.52771523
2454880.143	0.992320497	11.089	0.5252906
2454880.145	0.999458776	11.076	0.53161794
2454880.147	0.006597115	11.075	0.53210781
2454880.15	0.014400815	11.081	0.52917538
2454880.152	0.021508937	11.062	0.53851726
2454880.155	0.028647245	11.032	0.55360452
2454880.157	0.035785555	10.995	0.57279554
2454880.16	0.042954111	10.962	0.59047244
2454880.162	0.05009242	10.908	0.62058265
2454880.164	0.057230698	10.849	0.65523883
2454880.169	0.072172798	10.746	0.72044301
2454880.172	0.079311077	10.718	0.73926412
2454880.174	0.086449416	10.684	0.76278058
2454880.176	0.093587694	10.646	0.78995005
2454880.179	0.100695785	10.609	0.81733412
2454880.181	0.107834094	10.592	0.83023231
2454880.183	0.114972373	10.562	0.85349234
2454880.186	0.12214096	10.549	0.86377301
2454880.188	0.129309516	10.541	0.87016103

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.19	0.136447825	10.537	0.87337273
2454880.193	0.143586103	10.518	0.88879096
2454880.195	0.150724442	10.498	0.90531482
2454880.198	0.157983743	10.487	0.91453352
2454880.2	0.165122021	10.452	0.94449493
2454880.209	0.192707385	10.433	0.96116872
2454880.211	0.199845694	10.428	0.96560527
2454880.214	0.206984033	10.422	0.97095618
2454880.216	0.214122312	10.402	0.9890076
2454880.219	0.221774834	10.416	0.97633673
2454880.221	0.228913112	10.406	0.98537067
2454880.223	0.236051451	10.394	0.99632179
2454880.226	0.243189729	10.405	0.98627864
2454880.228	0.250328068	10.408	0.98355722
2454880.23	0.257466347	10.406	0.98537067
2454880.233	0.264574469	10.407	0.98446352
2454880.235	0.271712747	10.403	0.98809711
2454880.237	0.278851086	10.401	0.98991893
2454880.24	0.285989364	10.413	0.97903818
2454880.242	0.293127703	10.401	0.98991893
2454880.245	0.30029623	10.406	0.98537067
2454880.247	0.307434569	10.411	0.9808433
2454880.249	0.314572847	10.423	0.97006231
2454880.252	0.321711186	10.432	0.9620544
2454880.254	0.328849464	10.44	0.95499177
2454880.256	0.335987803	10.445	0.95060398
2454880.259	0.343126113	10.461	0.93669808

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.261	0.350264391	10.471	0.92811038
2454880.263	0.35740273	10.49	0.91201006
2454880.266	0.36451076	10.498	0.90531482
2454880.268	0.371679347	10.508	0.89701484
2454880.271	0.378817625	10.528	0.88064248
2454880.273	0.385955964	10.545	0.86696114
2454880.275	0.393094243	10.563	0.85270661
2454880.278	0.400232582	10.585	0.83560231
2454880.28	0.407370891	10.6	0.82413741
2454880.282	0.414478921	10.627	0.80389556
2454880.285	0.42161726	10.666	0.77553183
2454880.287	0.428755539	10.698	0.75300807
2454880.289	0.435893878	10.744	0.72177133
2454880.292	0.443062465	10.777	0.70016376
2454880.294	0.450140278	10.808	0.68045534
2454880.296	0.457278556	10.848	0.65584261
2454880.299	0.464447143	10.891	0.63037594
2454880.301	0.471555173	10.929	0.60869485
2454880.304	0.478693512	10.964	0.58938575
2454880.306	0.485831822	10.987	0.57703164
2454880.308	0.4929701	11.003	0.56859054
2454880.311	0.500078191	10.993	0.57385164
2454880.313	0.507216469	10.988	0.57650042
2454880.315	0.514354808	10.995	0.57279554
2454880.318	0.521493118	10.966	0.58830106
2454880.32	0.528601148	10.946	0.59923839
2454880.322	0.535739487	10.891	0.63037594

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.325	0.542877765	10.889	0.63153821
2454880.327	0.550046352	10.806	0.68170994
2454880.33	0.557184631	10.75	0.71779368
2454880.332	0.564292721	10.735	0.72777918
2454880.334	0.571431031	10.689	0.75927592
2454880.337	0.578871818	10.663	0.77767767
2454880.339	0.585979848	10.666	0.77553183
2454880.341	0.593118187	10.637	0.7965254
2454880.344	0.600256466	10.594	0.82870437
2454880.346	0.607364527	10.575	0.84333404
2454880.348	0.614502866	10.563	0.85270661
2454880.351	0.621671422	10.557	0.85743188
2454880.356	0.635917761	10.496	0.90698401
2454880.358	0.6430561	10.508	0.89701484
2454880.36	0.650164162	10.51	0.895364
2454880.363	0.65730244	10.486	0.91537623
2454880.365	0.664440779	10.485	0.91621971
2454880.367	0.671548809	10.487	0.91453352
2454880.37	0.678687148	10.491	0.91117046
2454880.372	0.685825458	10.412	0.97994032
2454880.379	0.708057014	10.441	0.9541126
2454880.382	0.715165076	10.422	0.97095618
2454880.384	0.722303415	10.427	0.96649504

ตาราง ก-3 แสดงค่าเฟส, พลิกซ์ในช่วงความยาวคลื่นสีแดง

HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.011	0.594934298	10.168	0.81275
2454880.014	0.602072576	10.131	0.84093
2454880.016	0.609210915	10.107	0.85972
2454880.018	0.616318945	10.109	0.85814
2454880.021	0.623457284	10.079	0.88218
2454880.023	0.630595594	10.06	0.89776
2454880.025	0.637733933	10.051	0.90523
2454880.028	0.644872211	10.053	0.90356
2454880.03	0.651980302	10.035	0.91867
2454880.032	0.65911858	10.019	0.93231
2454880.035	0.666256919	10.011	0.9392
2454880.037	0.673425446	10.004	0.94528
2454880.04	0.680503259	9.994	0.95402
2454880.042	0.687641598	9.995	0.95315
2454880.044	0.694810185	9.983	0.96374
2454880.047	0.701948463	9.973	0.97266
2454880.049	0.709056554	9.968	0.97715
2454880.051	0.716194863	9.966	0.97895
2454880.054	0.723333142	9.954	0.98983
2454880.056	0.730471481	9.943	0.99991
2454880.058	0.737579511	9.956	0.98801
2454880.063	0.751856189	9.952	0.99165
2454880.066	0.758994498	9.961	0.98347
2454880.068	0.766102528	9.965	0.97985
2454880.07	0.773240867	9.965	0.97985
2454880.073	0.780379146	9.977	0.96908

2454880.075	0.787547733	9.972	0.97355
HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.077	0.794655794	9.982	0.96463
2454880.08	0.801794133	9.984	0.96285
2454880.082	0.808932411	9.991	0.95666
2454880.084	0.81607075	10.004	0.94528
2454880.087	0.823209029	10.009	0.94093
2454880.089	0.830317119	10.018	0.93317
2454880.091	0.837455429	10.031	0.92206
2454880.094	0.844593737	10.041	0.91361
2454880.096	0.852306755	10.061	0.89693
2454880.099	0.859445063	10.068	0.89117
2454880.101	0.866583372	10.082	0.87975
2454880.103	0.873721651	10.102	0.86369
2454880.106	0.880829742	10.109	0.85814
2454880.108	0.88796802	10.137	0.83629
2454880.111	0.89510639	10.162	0.81726
2454880.113	0.90221442	10.189	0.79719
2454880.115	0.909352759	10.22	0.77475
2454880.118	0.916491038	10.254	0.75086
2454880.12	0.923659625	10.286	0.72905
2454880.122	0.930797903	10.327	0.70204
2454880.125	0.937905994	10.367	0.67664
2454880.127	0.945044303	10.415	0.64738
2454880.129	0.952182581	10.465	0.61824
2454880.132	0.95932092	10.502	0.59753
2454880.134	0.966459199	10.547	0.57327
2454880.136	0.97356729	10.584	0.55406

2454880.139	0.980705629	10.62	0.53599
HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.141	0.987843938	10.62	0.53599
2454880.144	0.994982216	10.619	0.53649
2454880.146	0.002090307	10.619	0.53649
2454880.148	0.009228586	10.617	0.53748
2454880.153	0.024200934	10.596	0.54797
2454880.156	0.031339212	10.567	0.56281
2454880.158	0.038477551	10.523	0.58608
2454880.16	0.04561586	10.478	0.61088
2454880.163	0.052723891	10.427	0.64026
2454880.165	0.05986223	10.382	0.66736
2454880.167	0.067000508	10.333	0.69817
2454880.17	0.074834517	10.29	0.72637
2454880.172	0.082003104	10.257	0.74879
2454880.175	0.089141412	10.219	0.77546
2454880.177	0.096249474	10.188	0.79792
2454880.179	0.103387752	10.167	0.8135
2454880.182	0.110526091	10.149	0.8271
2454880.184	0.1176644	10.123	0.84715
2454880.186	0.124832956	10.112	0.85577
2454880.189	0.131971235	10.093	0.87088
2454880.191	0.139109574	10.08	0.88137
2454880.194	0.146217635	10.074	0.88626
2454880.196	0.153355913	10.047	0.90857
2454880.198	0.160645491	10.042	0.91277
2454880.21	0.195369135	9.986	0.96108
2454880.212	0.202537691	9.979	0.9673

2454880.215	0.20967603	9.978	0.96819
HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.217	0.216753843	9.969	0.97625
2454880.219	0.224436582	9.981	0.96552
2454880.222	0.231574892	9.968	0.97715
2454880.224	0.23871317	9.963	0.98166
2454880.226	0.245851509	9.962	0.98256
2454880.229	0.252959539	9.957	0.9871
2454880.231	0.260097878	9.959	0.98528
2454880.234	0.267266465	9.958	0.98619
2454880.236	0.274404744	9.964	0.98075
2454880.238	0.281543082	9.962	0.98256
2454880.241	0.288681392	9.964	0.98075
2454880.243	0.2958197	9.966	0.97895
2454880.245	0.302958009	9.967	0.97805
2454880.248	0.310096287	9.979	0.9673
2454880.25	0.317234626	9.985	0.96197
2454880.252	0.324372905	9.99	0.95755
2454880.255	0.331541492	10.007	0.94267
2454880.257	0.33867977	10.011	0.9392
2454880.26	0.345818109	10.022	0.92974
2454880.262	0.35292617	10.026	0.92632
2454880.264	0.360064449	10.045	0.91025
2454880.267	0.367202788	10.052	0.9044
2454880.269	0.374341066	10.054	0.90273
2454880.271	0.381479405	10.084	0.87813
2454880.274	0.388617683	10.095	0.86928
2454880.276	0.395756022	10.112	0.85577

2454880.278	0.402864084	10.143	0.83169
HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.281	0.41003264	10.167	0.8135
2454880.283	0.417170949	10.196	0.79206
2454880.285	0.424309288	10.223	0.77261
2454880.288	0.431447566	10.268	0.74124
2454880.29	0.438555657	10.288	0.72771
2454880.293	0.445693966	10.33	0.7001
2454880.295	0.452832274	10.368	0.67602
2454880.297	0.459970584	10.412	0.64917
2454880.3	0.467078614	10.46	0.6211
2454880.302	0.474216953	10.48	0.60976
2454880.304	0.481355231	10.523	0.58608
2454880.307	0.48849357	10.533	0.58071
2454880.309	0.495601631	10.537	0.57857
2454880.311	0.50273991	10.536	0.57911
2454880.314	0.509908497	10.543	0.57539
2454880.316	0.517046775	10.535	0.57964
2454880.318	0.524154866	10.507	0.59478
2454880.321	0.531293175	10.478	0.61088
2454880.323	0.538431454	10.439	0.63323
2454880.326	0.545569793	10.386	0.6649
2454880.328	0.552708071	10.359	0.68165
2454880.33	0.559816162	10.322	0.70528
2454880.333	0.566954471	10.296	0.72237
2454880.335	0.574092779	10.259	0.74741
2454880.337	0.581533566	10.217	0.77689
2454880.34	0.588671876	10.198	0.7906

2454880.342	0.595810154	10.163	0.81651
HJD	Phase	Mag.	Flux
2454880.345	0.602918245	10.151	0.82558
2454880.347	0.610056523	10.126	0.84481
2454880.349	0.617194862	10.111	0.85656
2454880.352	0.624302924	10.094	0.87008
2454880.354	0.631441202	10.068	0.89117
2454880.356	0.638579541	10.064	0.89446
2454880.359	0.645687602	10.043	0.91193
2454880.361	0.65282591	10.04	0.91445
2454880.363	0.65996422	10.032	0.92121
2454880.366	0.66707225	10.042	0.91277
2454880.368	0.674210589	10.019	0.93231
2454880.37	0.681379115	10.005	0.94441
2454880.38	0.710688546	9.96	0.98437
2454880.383	0.717857072	9.971	0.97445
2454880.385	0.724995411	9.965	0.97985
2454880.39	0.739241751	9.95	0.99348

การหาค่า HJD, Phase และ Flux

วันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (Heliocentric Julian Date : H.J.D.)

วันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ คือ เวลาทางดาราศาสตร์ที่นับเป็นจำนวนวัน มีค่าเวลาแบ่งในรูปทศนิยมของวัน เริ่มนับวันใดวันหนึ่งในอดีตเป็นวันเริ่มต้น มีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลาง คำนวณได้จากสมการ

$$H.J.D. = J.D. + \Delta t$$

เมื่อ H.J.D. เป็นวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ, J.D. เป็นวันจูเลียน (Julian Date) ที่มีความหมายเหมือนกันกับวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ แต่ใช้การกำหนดวันโดยโลกเป็นจุดศูนย์กลาง (Geocentric) ซึ่งวันจูเลียนได้จากสมการ

$$J.D. = 2415020 + 365 (\text{ปี ค.ศ.}-1900) + \text{จำนวนวันนับจากวันเริ่มต้นปีใหม่} \\ + \text{จำนวนปี ค.ศ. ที่หารด้วย 4 ลงตัวนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900} - 0.5$$

และ Δt เป็นผลต่างของเวลาที่แสงใช้เดินทางข้ามวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัน คำนวณได้จากสมการ

$$\Delta t = -0.0057755 [(\cos \delta \cos \alpha)X + (\tan \varepsilon \sin \delta + \cos \delta \sin \alpha)Y]$$

เมื่อ X, Y เป็นพิกัดฉากของดวงอาทิตย์ ณ วันที่พิจารณา, α, δ เป็นค่าไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension) และเดคลิเนชัน (Declination) ของดาว ณ วันที่พิจารณา, ε เป็นค่ามุมเอียงของ อีคลิปติก ซึ่งมีค่า $23^{\circ}27'$ ซึ่งค่า X และ Y สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$X = 0.99986 \cos L - 0.025127 \cos(G - L) + 0.008374 \cos(G + L) \\ + 0.000105 \cos(2G + L) + 0.000068 T \cos(G - L) + 0.000035 \cos(2G - L) \\ Y = 0.917308 \sin L + 0.023053 \sin(G - L) + 0.007683 \sin(G + L) \\ + 0.000097 \sin(2G + L) - 0.000057 T \sin(G - L) - 0.000032 \sin(2G - L)$$

เมื่อ T เป็น ค่าศตวรรษจูเลียนสัมพัทธ์ (relative Julian century) คำนวณได้จากสมการ

$$T = (J.D. - 2415020) / 36525$$

L เป็น ค่าลองจิจูดสุริยะเฉลี่ย (mean solar longitude) มีหน่วยเป็นองศา โดย L ต้องมีค่าน้อยกว่า 360° คำนวณได้จากสมการ

$$L = 279^{\circ}.696678 + 36000.76892 T + 0.000303 T^2 - p$$

เมื่อ p เป็น ค่าการส่าย (precession) ของแกนหมุนของโลก จากปี ค.ศ. 1950 ถึงวันที่ทำการสังเกตการณ์ ซึ่งคำนวณค่าการส่ายได้จากสมการ

$$p = [1.396041 + 0.000308 (T + 0.5)][T - 0.49998]$$

และ G เป็น ค่าอะนอมลีสริยะเฉลี่ย (mean solar anomaly) มีหน่วยเป็นองศา โดย G ต้องมีค่าน้อยกว่า 360° คำนวณได้จากสมการ

$$G = 358.475833 + 35999.04975 T - 0.00015 T^2$$

เฟสการโคจรของดาวคู่

เฟส (Phase) คือ องศาการโคจรของระบบดาวคู่ ซึ่งมีค่าจาก 0 ถึง 1 โดยตำแหน่งกึ่งกลางของอุปราคาปฐุมภูมิ มีค่าเท่ากับ 0 และอุปราคาทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ 0.5 ในการคำนวณเฟส แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. เมื่อวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (H.J.D.) น้อยกว่าค่าอีพอช (Epoch) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Phase = 1 - \text{Fractional part of } \frac{H.J.D. - Epoch}{Period}$$

2. เมื่อวันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (H.J.D.) มากกว่าค่าอีพอช (Epoch) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Phase = \text{Fractional part of } \frac{H.J.D. - Epoch}{Period}$$

เมื่อ Epoch เป็น วันจูเลียนศูนย์กลางสุริยะ (H.J.D.) ในขณะที่ดาวแปรแสงมีความสว่างน้อยที่สุด

Period เป็น คาบการแปรแสง

และ Fractional part of (...) หมายถึง คัดเฉพาะผลการคำนวณที่เป็นเลขทศนิยม เช่น สมมติว่า ผลการคำนวณของสมการ... เป็น Fractional part of 23727.03024670 จะได้ Phase = 0.03024670 นั่นเอง

ฟลักซ์ (Flux) ของแสงดาว

ฟลักซ์ คือ ปริมาณแสงต่อพื้นที่ต่อเวลา หาได้จากสมการ

$$m = -2.5 \log f$$

ดังนั้น $f = 10^{-m/2.5}$

เมื่อ m คือ ความสว่างปรากฏของดาว

f คือ ฟลักซ์ของแสงดาว

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี

โปรแกรมวิลสัน-เดวินี เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ เพื่อนำไปสร้างข้อมูลของกราฟแสง, กราฟความเร็ว และแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมหลักสองส่วนดังนี้

1. โปรแกรมหลัก Differential Correction (DC) เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น อัตราส่วนมวล อุณหภูมิ ค่าความเอียงของระนาบวงโคจร กำลังส่องสว่าง เป็นต้น การคำนวณหาพารามิเตอร์ทำได้โดยการใส่ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเข้าไปในโปรแกรมพร้อมกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกต คือ เฟส พลักซ์ และค่าน้ำหนักของการเฉลี่ย โปรแกรมจะสร้างข้อมูลที่ได้จากค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเหล่านี้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เฉลี่ยจากการสังเกตแล้วข้างต้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) โปรแกรมจะบอกค่าความถูกต้องของพารามิเตอร์ (Parameter Corrections) ค่าความผิดพลาดที่เป็นไปได้ (Probable Errors) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ป้อนเข้า ($\sum_{input}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จากทฤษฎี ($\sum_{predict}$) ถ้าข้อมูลที่โปรแกรมสร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการสังเกต ค่า Parameter Corrections ทุกตัวจะมีค่าน้อยกว่าค่า Probable Errors ค่า $\sum_{input}$ และ $\sum_{predict}$ มีค่าน้อยและใกล้เคียงกัน ในทางตรงกันข้าม ถ้าข้อมูลยังไม่สอดคล้องกัน ค่า Parameter Corrections จะมีค่ามากกว่าค่า Probable Errors ค่า $\sum_{input}$ และ $\sum_{predict}$ มีค่ามากและมีค่าต่างกันมาก ซึ่งจะต้องใส่ค่าพารามิเตอร์เข้าไปใหม่ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไปใหม่ได้จากการบวกค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นกับค่า Parameter Corrections ดังนั้น ข้อมูลที่ป้อนเข้า (Input) ของโปรแกรมหลัก DC ประกอบด้วย เซตของพารามิเตอร์และข้อมูลจากการสังเกต ส่วนผล (Output) ของโปรแกรม ประกอบด้วย ข้อมูลที่โปรแกรมคำนวณจากเซตของพารามิเตอร์ ค่า Parameter Corrections ค่า Probable Errors ค่า $\sum_{input}$ และ $\sum_{predict}$

2. โปรแกรมหลัก Light and Velocity Curve (LC) เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างข้อมูลของกราฟแสงสังเคราะห์, กราฟความเร็ว และแบบจำลองจากค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากโปรแกรมหลัก DC และข้อมูลที่ป้อนเข้าของโปรแกรมนี้อาจเป็น เซตของพารามิเตอร์จากโปรแกรมหลัก DC และข้อมูลจากการสังเกต ส่วนผลของโปรแกรมคือ ข้อมูลของกราฟแสงสังเคราะห์, กราฟความเร็ว และแบบจำลองของระบบดาวคู่

ตัวควบคุมการทำงานของโปรแกรม ประกอบด้วย

1. ตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC และ LC ได้แก่

MODE เป็นตัวบ่งชี้ประเภทดาวคู่ เป็นเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ -1 ถึง 6 โดยที่

MODE -1 เป็นดาวคู่เอกซ์เรย์ (X-ray Binaries)

MODE 0 เป็น MODE ที่ใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Russell ใน MODE นี้
อัตราส่วนของกำลังส่องสว่างจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิผิว

MODE 1 เป็นดาวคู่แบบติดกัน เช่นดาว W Uma

MODE 2 เป็นดาวคู่แบบแยกกัน

MODE 3 เป็นดาวคู่แบบติดกัน แต่อุณหภูมิดาวดวงที่ 2 สามารถปรับค่าได้
นั่นคือ ดาวมีความสว่างพื้นผิวต่างกัน

MODE 4 เป็นดาวคู่แบบกึ่งติดกัน เมื่อดาวดวงที่ 1 เต็ม Inner Roche Lobe

MODE 5 เป็นดาวคู่แบบกึ่งติดกัน เมื่อดาวดวงที่ 2 เต็ม Inner Roche Lobe

MODE 6 เป็น Double Contact Binaries เมื่อดาวทั้ง 2 ดวงเต็ม

Inner Roche Lobe

IPB สำหรับ MODE 1-6 ถ้า IPB = 0 โปรแกรมจะคำนวณค่ากำลังส่องสว่างของดาวดวง
ที่ 2 (L_2) จากอุณหภูมิของดาวดวงที่ 1 อุณหภูมิของดาวดวงที่ 2 กำลังส่องสว่างของดาวดวงที่ 1 และ
Radiation Laws แต่ถ้า IPB = 1 โปรแกรมจะใช้ค่า L_2 ที่ป้อนเข้าไป กรณี MODE -1 และ 0 กำหนด
IPB = 1 ไม่ได้

IFAT1, IFAT2 เป็นการกำหนดการแผ่พลังงานบนดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2
ตามลำดับ ถ้า IFAT = 0 เป็นการแผ่พลังงานของวัตถุดำ แต่ถ้า IFAT = 1 การแผ่พลังงานจะได้จาก
การประมาณบรรยากาศของดาวฤกษ์

N1, N2 เป็น Grid Size ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

VUNIT เป็นค่าความเร็วในแนวนอนที่ ใช้ในโปรแกรม มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวินาที
โดยปกติมีค่า 100 km/s

MREF เป็นการกำหนดว่าจะใช้ผลของการสะท้อนจากกฎกำลังสองผกผัน (Inverse
Square Laws) หรือจากรายละเอียดอื่นๆ สำหรับดาวที่มีการหมุนแบบ Synchronous ใช้ MREF = 1
ส่วนดาวที่การหมุนไม่เป็นแบบ Synchronous ใช้ MREF = 2

NREF เป็นจำนวนเต็มที่ใช้ในกรณี MREF = 2 เพื่อเป็นการกำหนดจำนวนผลของการ
สะท้อน เช่น NREF = 1 หมายถึงมี 1 Reflection ถ้า NREF = 2 หมายถึงมี 2 Reflection

IFSMV1, IFSMV2 เป็นจำนวนเต็มที่กำหนดการเคลื่อนที่ของจุดบนดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ ถ้า $IFSMV = 0$ จุดจะไม่เคลื่อนที่ นั่นคือ Longitude มีค่าคงที่เมื่อเทียบกับศูนย์กลางของดาวทั้งสองดวง พบได้ในกรณีจุดร้อน (Hot Spot) ที่เกิดจากธารของก๊าซ ถ้า $IFSMV = 1$ จุดจะมีการเคลื่อนที่ไปตาม Longitude

ตัวควบคุมที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC ได้แก่

KEEP's เป็นตัวกำหนดว่ามีพารามิเตอร์ตัวใดบ้างที่ถูกปรับค่า ถ้า $KEEP = 0$ จะสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้ แต่ถ้า $KEEP = 1$ จะไม่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ได้

IFDER, IFM, IFR เป็นตัวควบคุมการพิมพ์รายละเอียดของโปรแกรม กล่าวคือ IFDER ควบคุมการพิมพ์สมการของการสังเกต (Observation Equation) ทั้ง Unweighted และ Weighted เมตริกซ์ IFM ควบคุมการพิมพ์เมตริกซ์ของสมการปกติ (Normal Equation) ให้พิมพ์ผลลัพธ์ของสมการปกติ เมตริกซ์ของ Correlation Coefficient และค่าผลรวมของเรซิดิวส์ (Residuals) IFR ควบคุมการพิมพ์ข้อมูลของรัศมี Derivatives ของรัศมีที่สัมพันธ์กับค่าศักย์พื้นผิว (Surface Potentials) และอัตราส่วนมวล รวมทั้งพิมพ์ค่า Probable Errors ของรัศมี ถ้ากำหนดให้ค่าเหล่านี้เท่ากับ 1 โปรแกรมจะพิมพ์รายละเอียดดังกล่าว แต่กำหนดให้เท่ากับ 0 โปรแกรมจะไม่พิมพ์รายละเอียดเหล่านี้

KSPA, NSPA, KSPB, NSPB เป็นตัวควบคุมจำนวนของจุดบนดาว ซึ่งอาจจะมีได้หลายจุดพิจารณาจุด A และจุด B ซึ่งอาจจะอยู่บนดาวดวงเดียวกัน หรือคนละดวงก็ได้ KSP เป็นการบอกว่าจุดอยู่บนดาวดวงไหน เช่น $KSPA = 1$ หมายถึงจุด A อยู่บนดาวดวงที่ 1 หรือ $KSPA = 2$ หมายถึงจุด A อยู่บนดาวดวงที่ 2 เป็นต้น NSP เป็นการบอกว่าจุดนั้นเป็นจุดที่เท่าไร เช่น $KSPA = 2$ และ $NSPA = 3$ หมายถึงจุด A คือจุดที่ 3 บนดาวดวงที่ 2 สำหรับการกำหนดจุด B ก็สามารทำได้เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น การปรับตำแหน่ง ขนาด และอุณหภูมิของจุด สามารถทำได้โดยการเซตจำนวนเต็ม 8 ตัวแรกของ KEEP's โดยที่จำนวนเต็ม 4 ตัวแรกเป็นจุดของ A และ 4 ตัวหลังเป็นของจุด B

IFVC1, IFVC2 เป็นการกำหนดว่าจะใช้กราฟความเร็วของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ที่ใส่เข้าไปหรือไม่ ถ้าเท่ากับ 0 หมายถึงไม่ใช้ ถ้าเท่ากับ 1 หมายถึงใช้

NLC เป็นจำนวนของกราฟแสงที่ใส่เข้าไป

KO เป็นตัวควบคุมที่มี 3 ทางเลือกที่ผู้จะใช้จะสร้าง "Scratch Pad" ในโปรแกรม ถ้า $KO=0$ จะทำ Base Set และหยุด ถ้า $KO=1$ จะอ่านค่า Derivatives และ Residuals ที่เขียนเป็น Scratch Pad ในการรันก่อนหน้า โปรแกรมจะคำนวณเฉพาะ Weight และ Subset ที่ต้องการเท่านั้น ถ้า $KO=2$ โปรแกรมจะเขียน Derivatives และ Residuals ที่สร้างขึ้นในการรันบน Scratch Pad เพื่อใช้ใน

ครั้งต่อไป ถ้าไม่ต้องการเปลี่ยน Content ปัจจุบันของ Scratch Pad หรือถ้าไม่มี Scratch Pad เราสามารถให้โปรแกรมดำเนินการกับหลายๆ Subset ได้โดยการกำหนดค่า KO=2 และ KDISK=0

KDISK กำหนดค่า KDISK=1 เมื่อใช้ Scratch Pad หรือ KDISK=0 เมื่อไม่ใช้ Scratch Pad

ISYM เป็นตัวกำหนดคำตอบของโปรแกรม ถ้า ISYM=0 คำตอบเป็นแบบ Asymmetrical Derivatives แต่ถ้า ISYM=1 คำตอบเป็นแบบ Symmetrical Derivatives

N1L, N2L เป็น Grid Size แบบหยาบๆ มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ N1 และ N2

พารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรมวิลสันและเดวินี

พารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC และ LC มีทั้งพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ และพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้

1. พารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ มีดังนี้

PERIOD คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ในหน่วยของวันสุริยะเฉลี่ย (Mean Solar Days) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณกราฟความเร็ว

THE คือ ช่วงเวลาครึ่งหนึ่ง (Semi-Duration) ของการเกิดอุปราคาใช้ใน Mode-1 และใช้ในระบบดาวคู่ที่สมาชิกดวงที่ 1 เป็นดาวนิวตรอน (Neutron Star) หลุมดำ (Black Hole) หรือดาวแคระขาว (White Dwarf)

2. พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 พารามิเตอร์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ได้แก่

ECC คือค่า Binary Orbital Eccentricity

ARG.PERI คือ ค่า Argument of Periastron ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ในแต่ละเฟสของการเกิดอุปราคาในกรณีที่วงโคจรเป็นวงกลมโปรแกรมจะกำหนดให้พารามิเตอร์นี้มีค่า 90 องศา

a/R_{sun} คือ ค่าครึ่งแกนยาว (Semi-Major Axis) ของวงโคจรที่เป็นวงรี ในหน่วยของรัศมีดวงอาทิตย์ (Solar Radii = 6.960×10^5 km)

F_1, F_2 คือ ค่าอัตราส่วนการหมุน (Axial Rotation Rate) ของดาวกับอัตราการโคจรเฉลี่ย (Mean Orbital Rotation Rate) ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

V_γ คือ ความเร็วในแนวรัศมีที่ศูนย์กลางมวลของระบบดาวคู่

PSHIFT คือ ค่า Constant Shift ที่นำมาใช้ในการคำนวณเฟส เช่น ในการเปลี่ยนระหว่างดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 สามารถใช้พารามิเตอร์นี้ในการเลื่อนเฟสได้ โดยไม่ต้องสลับข้อมูลจากการสังเกต โดยปกติพารามิเตอร์นี้มีค่า 0.0000

i คือ ค่าความเอียงระนาบวงโคจร มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา เมื่อ i เท่ากับ 0° เป็นการมองลงมาที่ขั้วของดาว ถ้า i เท่ากับ 90° ระนาบวงโคจรจะวางตัวในแนวสายตาของผู้สังเกต

g_1, g_2 คือ ค่า Gravity Darkening Exponent ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ สำหรับ Radiative Stars $g=1.00$ และ Convective Stars $g = 0.32$

T_1, T_2 คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวสัมฤทธิ์ (Mean Surface Effective Temperature) ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

A_1, A_2 คือ ค่า Bolometric Albedos ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ สำหรับ Radiative Stars $A = 1.00$ และ Convective Stars $A = 0.50$

Ω_1, Ω_2 คือ ค่า Potential ของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

m_1 / m_2 คือ อัตราส่วนมวลของระบบ

$x_{1(BOL)}, x_{2(BOL)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ $\cos\gamma$ ในกฎของ Bolometric Limb Darkening

$$\frac{I}{I_0} = 1 - x + x \cos \gamma - y \cos \gamma (\ln \cos \gamma)$$

$y_{1(BOL)}, y_{2(BOL)}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเทอม $\cos\gamma (\ln \cos\gamma)$ ในกฎของ Bolometric Limb Darkening

SPOT LAT. คือ ละติจูดของศูนย์กลางจุด มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา วัดจากขั้วเหนือถึงขั้วใต้ของดาว

SPOT LONG. คือ ลองจิจูดของศูนย์กลางจุด มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา วัดตามเข็มนาฬิกาจากเส้นต่อระหว่างจุดศูนย์กลางมวล เมื่อมองจาก Upper Pole เนื่องจากค่า DEL ของละติจูดและลองจิจูดมีหน่วยเป็นองศา แต่ใน Parameter Corrections ของ DC มีหน่วยมุมเป็นเรเดียน ดังนั้นต้องแปลงเรเดียนให้เป็นองศา ก่อนจึงนำไปใช้ได้

SPOT ANG.RAD. คือ รัศมีเชิงมุม (Angular Radius) ของจุด มีหน่วยเป็นองศา โดยมีศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูดที่กำหนด

SPOT TEMP.FACTOR คือ เปอร์เซ็นต์ ที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่าของอุณหภูมิจุดเมื่อเทียบกับโฟโตสเฟียร์ของดาว เช่น ถ้า SPOT TEMP.FACTOR = 0.6 หมายความว่า จุดมีอุณหภูมิต่ำกว่าโฟโตสเฟียร์ 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเป็นจุดเย็น (Cool Spot) ถ้า SPOT TEMP.FACTOR = 1.25 หมายความว่า จุดมีอุณหภูมิสูงกว่าโฟโตสเฟียร์ 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเป็นจุดร้อน (Hot Spot) และถ้า SPOT TEMP.FACTOR = 1 หมายความว่า จุดมีอุณหภูมิเท่ากับโฟโตสเฟียร์ นั่นคือไม่มีจุด

2.2 พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ได้แก่

L_1, L_2 คือ กำลังส่องสว่างของดาวดวงที่ 1 และดาวดวงที่ 2 ตามลำดับ

X_1, x_2, y_1, y_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการมีดคล้ำที่ขอบดวงที่ความยาวคลื่นใดๆ ซึ่ง

มีรูปแบบเหมือนกฎของ Bolometric Limb Darkening ข้างต้น

I_3 คือ แสงของดาวดวงที่ 3

การคำนวณค่าพารามิเตอร์

ขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์โดยใช้โปรแกรมวิลสันและเดวินนิ สรุปได้ดังนี้

1. การคำนวณค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรมหลัก DC แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1.1 ใส่ค่าของพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ และพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ในโปรแกรม พารามิเตอร์ที่ยอมให้มีการปรับค่าได้คือ ค่าศักย์ของพื้นผิวดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิ ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร อุณหภูมิดาวทุติยภูมิ ค่าความสว่างของดาวทุติยภูมิ พารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้คือ คาบของการบังกัน อุณหภูมิดาวปฐมภูมิ ค่าความมืดของขอบดวงจากความโน้มถ่วง สำหรับดาวประเภท Radiative Star มีค่าเท่ากับ 1.000 และสำหรับดาวประเภท Convective Star มีค่าเท่ากับ 0.320 ค่าความสะท้อน สำหรับดาวประเภท Radiative Star มีค่าเท่ากับ 1.000 และสำหรับดาวประเภท Convective Star มีค่าเท่ากับ 0.500 ค่าความยาวคลื่นของแผ่นกรองแสง Visual filter ป้อนข้อมูลค่าเฟส (Phase) สัดส่วนความเข้ม (Intensity Ratio) และน้ำหนัก (Weight) ที่ได้จากการเฉลี่ยข้อมูลจากการสังเกต ลงในโปรแกรม DC

1.2 ขั้นตอนนี้กำหนดให้อัตราส่วนมวลเป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ คือ 0.3, 0.4, 0.5,... ในการรันโปรแกรม เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

1.3 การกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่าพารามิเตอร์ได้นั้น กระทำโดยการ KEEP พารามิเตอร์เหล่านั้น พารามิเตอร์ที่ต้องการเปลี่ยนค่าได้จะต้องกำหนดให้ Keep = 0 ส่วนพารามิเตอร์ที่ไม่ต้องการเปลี่ยนค่าจะต้องกำหนดให้ Keep = 1 พารามิเตอร์ที่จะ KEEP เป็นไปตามข้อ 1.1 และ 1.2

1.4 ทำการรันโปรแกรมด้วยคำสั่ง `dc92_<ชื่อไฟล์อินพุต >_ชื่อไฟล์เอาต์พุต` เช่น `dc92_<v001.dat>_v001`

1.5 จากผลของการรันโปรแกรม จะได้ค่า Parameter Corrections และค่า Probable Errors พารามิเตอร์ที่มีค่า Parameter Corrections น้อยกว่าค่า Probable Errors ถือว่าพารามิเตอร์นั้นเชื่อถือได้ ทำการบวกค่า Parameter Corrections กับเซตของพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ในแต่ละค่า เพื่อใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ในการรันโปรแกรมครั้งต่อไป นำผลที่ได้กระทำซ้ำเดิม แนวโน้มของคำตอบที่ได้จากไฟล์เอาต์พุต จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละค่าของอัตราส่วนมวลที่ปรับค่าไม่ได้ โดยพิจารณาจากค่า $\sum_{\text{input}}$ และ $\sum_{\text{predict}}$ ที่มีค่าน้อยที่สุดและใกล้เคียงกันมากที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

1.6 การกำหนดชนิดของดาวคู่ หรือ Mode นั้น จะเริ่มกำหนดจาก Mode 2 ซึ่งเป็นโหมดของดาวคู่ชนิดไม่ติดกัน (Detached Binaries) เพื่อให้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของพื้นผิวปรับค่าได้ เนื่องจากขนาดของดาวทั้งสองดวงไม่เต็มผิวของโรซซ์ ค่าศักย์ของพื้นผิวทั้งสองดวงจะมีค่ามากกว่า พื้นผิววิกฤต (Critical Surface) หรือ Inner Roche Lobe ค่าที่ได้จากการรันโปรแกรมซึ่งนำมาทำเป็นเซตพารามิเตอร์ตั้งต้นนั้น ถ้าค่าพารามิเตอร์ของศักย์ของพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่าพื้นผิววิกฤต ดวงใดดวงหนึ่ง ระบบของดาวคู่จะเปลี่ยนโหมดไปเป็น Semi-Detached นั่นคือ Mode 4 สำหรับดาวปฐมภูมิเต็ม Inner Roche Lobe หรือ Mode 5 สำหรับดาวทุติยภูมิเต็ม Inner Roche Lobe ซึ่งมีผลไปถึงการกำหนดพารามิเตอร์ของศักย์ของพื้นผิวให้ปรับค่าไม่ได้ ในระหว่างการรันโปรแกรมของแต่ละอัตราส่วนมวล เมื่อค่าศักย์ของพื้นผิวของดาวทั้งสองดวงมีค่าน้อยกว่า Inner Roche Lobe โหมดของดาวจะเปลี่ยนไปเป็น Mode 3 นั่นคือ ดาวคู่แบบติดกัน ค่าของศักย์ของพื้นผิวจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะต้องปรับค่าศักย์ของพื้นผิวให้มีการปรับค่าได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น แต่ค่าศักย์ของพื้นผิวจะต้องเปลี่ยนแปลงเท่ากันทั้งสองดวง

1.7 เปลี่ยนค่าอัตราส่วนมวล โดยการ $KEEP = 0$ ที่อัตราส่วนมวลเพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนมวลที่ละเอียดขึ้น โดยใช้คำตอบที่ดีที่สุดในข้อ 1.1 ถึง 1.6 เป็นเซตของพารามิเตอร์เริ่มต้นในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ทำตามขั้นตอน 1.1 ถึง 1.5 อีกครั้ง เพื่อหาเซตของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปสร้างข้อมูลของกราฟแสงสังเคราะห์

2. การสร้างข้อมูลของกราฟแสงสังเคราะห์โดยใช้โปรแกรมหลัก LC

3. กรณีที่กราฟแสงทั้งสองเส้นยังไม่สอดคล้องกัน อาจใช้พารามิเตอร์ของจุด (Spot) หรือแสงดาวดวงที่สาม (Third Light) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

ตัวอย่าง Input File

```
0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01
0.1D-01 0.1D+00 0.1D+00 0.1D+00 0.2D-02 -.1D+01 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01 0.3D-02
0.1D-01 0.1D-01 0.3D-01 0.3D-01 0.5D-02 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01
1111 1111 1111111 01110 11010 11111 01111 1 1 1 0.100D-04
1 0 2 0
0 0 3 0 2 0 3
1 1 1 1 1 1 2
2 2454449.18266 0.330602120 -6.963970D-11 0.0001
03 0 0 0 30 30 15 15 3.141593 0.00000D+00 0.00000 100.000
0.000 17.71 1.00 1.00 -13.20d-2 83.63 0.320 0.320 0.000
0.6000 0.5775 0.500 0.500 5.569921 3.775515 2.2947897 0.579 1.568 2.798 2.521
```

5	4.41767	3.68780	0.750	0.750	0.190	0.371	0.0000	0.000D+00	2	0.10000D-01	0.430000
6	4.34506	3.68780	0.620	0.620	0.190	0.371	0.0000	0.000D+00	2	0.10000D-01	0.525000
7	4.22409	3.68780	0.500	0.500	0.241	0.314	0.0000	0.000D+00	2	0.10000D-01	0.595000
300.00000											
300.00000											
150.0000											
	0.01225	0.5068	1.00		0.01939	0.5138	1.00		0.02650	0.5282	1.00
	0.03364	0.5450	1.00		0.04078	0.5681	1.00		0.04791	0.5992	1.00
	0.05505	0.6240	1.00		0.06219	0.6504	1.00		0.06999	0.6880	1.00
	0.07713	0.7125	1.00		0.08430	0.7332	1.00		0.09144	0.7691	1.00
	0.09858	0.7899	1.00		0.10569	0.8128	1.00		0.11282	0.8341	1.00
	0.11996	0.8395	1.00		0.12713	0.8519	1.00		0.13427	0.8519	1.00
	0.14141	0.8630	1.00		0.14858	0.8790	1.00		0.15572	0.9012	1.00
	0.16294	0.9145	1.00		0.19767	0.9559	1.00		0.20484	0.9638	1.00
	0.21197	0.9692	1.00		0.21960	0.9559	1.00		0.22674	0.9817	1.00
	0.23387	0.9845	1.00		0.24101	0.9665	1.00		0.24815	0.9736	1.00
	0.25532	0.9772	1.00		0.26246	0.9808	1.00		0.26960	0.9710	1.00
	0.27673	0.9781	1.00		0.28387	0.9621	1.00		0.29101	0.9817	1.00
	0.29815	0.9927	1.00		0.30526	0.9754	1.00		0.31240	0.9638	1.00
	0.31953	0.9665	1.00		0.32670	0.9393	1.00		0.33384	0.9402	1.00
	0.34098	0.9419	1.00		0.34812	0.9255	1.00		0.35526	0.9145	1.00
	0.36239	0.9045	1.00		0.36953	0.8937	1.00		0.37667	0.8863	1.00
	0.38378	0.8726	1.00		0.39092	0.8519	1.00		0.39805	0.8226	1.00
	0.40522	0.8143	1.00		0.41236	0.7995	1.00		0.41947	0.7741	1.00
	0.42661	0.7509	1.00		0.43375	0.7218	1.00		0.44088	0.7112	1.00
	0.44802	0.6836	1.00		0.45513	0.6486	1.00		0.46227	0.6206	1.00
	0.46941	0.6115	1.00		0.47652	0.5733	1.00		0.48365	0.5818	1.00
	0.49079	0.5541	1.00		0.50504	0.5749	1.00		0.51221	0.5760	1.00
	0.52648	0.5733	1.00		0.53359	0.5948	1.00		0.54073	0.6269	1.00
	0.54787	0.6457	1.00		0.55501	0.6619	1.00		0.56215	0.6780	1.00
	0.56925	0.7171	1.00		0.58386	0.7734	1.00		0.59006	0.7973	1.00
	0.59097	0.7684	1.00		0.59723	0.7770	1.00		0.59811	0.8054	1.00
	0.60525	0.8249	1.00		0.61151	0.8287	1.00		0.61236	0.8295	1.00
	0.61865	0.8654	1.00		0.61949	0.8457	1.00		0.62579	0.8782	1.00
	0.63289	0.8646	1.00		0.64003	0.8995	1.00		0.64088	0.8815	1.00

0.64717	0.9087	1.00	0.65431	0.8995	1.00	0.66142	0.9324	1.00
0.66856	0.9445	1.00	0.67572	0.9255	1.00	0.68286	0.9524	1.00
0.68994	0.9445	1.00	0.69711	0.9550	1.00	0.70425	0.9692	1.00
0.71139	0.9808	1.00	0.71849	0.9863	1.00	0.72563	0.9899	1.00
0.73277	0.9899	1.00	0.73991	1.0000	1.00	0.74705	0.9745	1.00
0.75415	0.9845	1.00	0.76129	0.9863	1.00	0.76843	0.9719	1.00
0.77560	0.9629	1.00	0.78271	0.9647	1.00	0.78985	0.9612	1.00
0.79698	0.9524	1.00	0.80412	0.9471	1.00	0.81123	0.9524	1.00
0.81837	0.9281	1.00	0.82551	0.9333	1.00	0.83265	0.9103	1.00
0.83975	0.9070	1.00	0.84750	0.8831	1.00	0.85464	0.8758	1.00
0.86174	0.8686	1.00	0.86888	0.8543	1.00	0.87602	0.8504	1.00
0.88316	0.8302	1.00	0.89027	0.8204	1.00	0.89741	0.7973	1.00
0.90454	0.7727	1.00	0.91171	0.7468	1.00	0.91882	0.7211	1.00
0.92596	0.6969	1.00	0.93310	0.6699	1.00	0.94024	0.6439	1.00
0.94737	0.6200	1.00	0.95448	0.5905	1.00	0.96162	0.5629	1.00
0.96876	0.5385	1.00	0.97590	0.5162	1.00	0.98303	0.5152	1.00
0.99014	0.5110	1.00	0.99731	0.5100	1.00			
-10002.00000								
0.00660	0.5321	1.00	0.01440	0.5292	1.00	0.02151	0.5385	1.00
0.02865	0.5536	1.00	0.03579	0.5728	1.00	0.04295	0.5905	1.00
0.05009	0.6206	1.00	0.05723	0.6552	1.00	0.07217	0.7204	1.00
0.07931	0.7393	1.00	0.08645	0.7628	1.00	0.09359	0.7900	1.00
0.10070	0.8173	1.00	0.10783	0.8302	1.00	0.11497	0.8535	1.00
0.12214	0.8638	1.00	0.12931	0.8702	1.00	0.13645	0.8734	1.00
0.14359	0.8888	1.00	0.15072	0.9053	1.00	0.15798	0.9145	1.00
0.16512	0.9445	1.00	0.19271	0.9612	1.00	0.19985	0.9656	1.00
0.20698	0.9710	1.00	0.21412	0.9890	1.00	0.22177	0.9763	1.00
0.22891	0.9854	1.00	0.23605	0.9963	1.00	0.24319	0.9863	1.00
0.25033	0.9836	1.00	0.25747	0.9854	1.00	0.26457	0.9845	1.00
0.27171	0.9881	1.00	0.27885	0.9899	1.00	0.28599	0.9790	1.00
0.29313	0.9899	1.00	0.30030	0.9854	1.00	0.30743	0.9808	1.00
0.31457	0.9701	1.00	0.32171	0.9621	1.00	0.32885	0.9550	1.00
0.33599	0.9506	1.00	0.34313	0.9367	1.00	0.35026	0.9281	1.00
0.35740	0.9120	1.00	0.36451	0.9053	1.00	0.37168	0.8970	1.00
0.37882	0.8806	1.00	0.38596	0.8670	1.00	0.39309	0.8527	1.00

0.00209	0.5365	1.00	0.00923	0.5375	1.00	0.02420	0.5480	1.00
0.03134	0.5628	1.00	0.03848	0.5861	1.00	0.04562	0.6109	1.00
0.05272	0.6403	1.00	0.05986	0.6674	1.00	0.06700	0.6982	1.00
0.07483	0.7264	1.00	0.08200	0.7488	1.00	0.08914	0.7755	1.00
0.09625	0.7979	1.00	0.10339	0.8135	1.00	0.11053	0.8271	1.00
0.11766	0.8471	1.00	0.12483	0.8558	1.00	0.13197	0.8709	1.00
0.13911	0.8814	1.00	0.14622	0.8863	1.00	0.15336	0.9086	1.00
0.16065	0.9128	1.00	0.19537	0.9611	1.00	0.20254	0.9673	1.00
0.20968	0.9682	1.00	0.21675	0.9762	1.00	0.22444	0.9655	1.00
0.23157	0.9771	1.00	0.23871	0.9817	1.00	0.24585	0.9826	1.00
0.25296	0.9871	1.00	0.26010	0.9853	1.00	0.26727	0.9862	1.00
0.27440	0.9808	1.00	0.28154	0.9826	1.00	0.28868	0.9808	1.00
0.29582	0.9789	1.00	0.30296	0.9780	1.00	0.31010	0.9673	1.00
0.31723	0.9620	1.00	0.32437	0.9575	1.00	0.33154	0.9427	1.00
0.33868	0.9392	1.00	0.34582	0.9297	1.00	0.35293	0.9263	1.00
0.36006	0.9102	1.00	0.36720	0.9044	1.00	0.37434	0.9027	1.00
0.38148	0.8781	1.00	0.38862	0.8693	1.00	0.39576	0.8558	1.00
0.40286	0.8317	1.00	0.41003	0.8135	1.00	0.41717	0.7921	1.00
0.42431	0.7726	1.00	0.43145	0.7412	1.00	0.43856	0.7277	1.00
0.44569	0.7001	1.00	0.45283	0.6760	1.00	0.45997	0.6492	1.00
0.46708	0.6211	1.00	0.47422	0.6098	1.00	0.48136	0.5861	1.00
0.48849	0.5807	1.00	0.49560	0.5786	1.00	0.50274	0.5791	1.00
0.50991	0.5754	1.00	0.51705	0.5796	1.00	0.52415	0.5948	1.00
0.53129	0.6109	1.00	0.53843	0.6332	1.00	0.54557	0.6649	1.00
0.55271	0.6816	1.00	0.55982	0.7053	1.00	0.56695	0.7224	1.00
0.57409	0.7474	1.00	0.58153	0.7769	1.00	0.58867	0.7906	1.00
0.59493	0.8128	1.00	0.59581	0.8165	1.00	0.60207	0.8409	1.00
0.60292	0.8256	1.00	0.60921	0.8597	1.00	0.61006	0.8448	1.00
0.61632	0.8581	1.00	0.61719	0.8566	1.00	0.62346	0.8822	1.00
0.62430	0.8701	1.00	0.63060	0.8978	1.00	0.63144	0.8912	1.00
0.63773	0.9052	1.00	0.63858	0.8945	1.00	0.64487	0.9036	1.00
0.64569	0.9119	1.00	0.65198	0.9187	1.00	0.65283	0.9144	1.00
0.65912	0.9323	1.00	0.65996	0.9212	1.00	0.66626	0.9392	1.00
0.66707	0.9128	1.00	0.67343	0.9453	1.00	0.67421	0.9323	1.00
0.68050	0.9540	1.00	0.68138	0.9444	1.00	0.68764	0.9531	1.00

0.69481	0.9637	1.00	0.70195	0.9727	1.00	0.70906	0.9771	1.00
0.71069	0.9844	1.00	0.71619	0.9789	1.00	0.71786	0.9744	1.00
0.72333	0.9898	1.00	0.72500	0.9798	1.00	0.73047	0.9999	1.00
0.73758	0.9880	1.00	0.73924	0.9935	1.00	0.75186	0.9917	1.00
0.75899	0.9835	1.00	0.76610	0.9798	1.00	0.77324	0.9798	1.00
0.78038	0.9691	1.00	0.78755	0.9736	1.00	0.79466	0.9646	1.00
0.80179	0.9629	1.00	0.80893	0.9567	1.00	0.81607	0.9453	1.00
0.82321	0.9409	1.00	0.83032	0.9332	1.00	0.83746	0.9221	1.00
0.84459	0.9136	1.00	0.85231	0.8969	1.00	0.85945	0.8912	1.00
0.86658	0.8798	1.00	0.87372	0.8637	1.00	0.88083	0.8581	1.00
0.88797	0.8363	1.00	0.89511	0.8173	1.00	0.90221	0.7972	1.00
0.90935	0.7747	1.00	0.91649	0.7509	1.00	0.92366	0.7291	1.00
0.93080	0.7020	1.00	0.93791	0.6766	1.00	0.94504	0.6474	1.00
0.95218	0.6182	1.00	0.95932	0.5975	1.00	0.96646	0.5733	1.00
0.97357	0.5541	1.00	0.98071	0.5360	1.00	0.98784	0.5360	1.00
0.99498	0.5365	1.00						

-10001.00000

1111 1111 1111101 11110 11011 11111 01111 1 1 1 0.100D-04

1111 1111 1111101 01111 11011 11111 01111 1 1 1 0.100D-04

1111 1111 1111101 01110 11111 11111 01111 1 1 1 0.100D-04

3

DMPER

ADJUSTMENT CONTROL INTEGERS; 1 SUPPRESSES ADJUSTMENT, 0 ALLOWS ADJUSTMENT.

0000 0000 0111111 11112 22222 22223 33333

1234 5678 9012345 67890 12345 67890 12345

LLSS LLSS aELFFPV IggTT AAPPQ EPPDB LLXXL D M R x

AGRT AGRT P12S 1212 1212 P TTK 12123

1111 1111 1111101 01110 11011 11111 01111 1 1 1 0.100D-04

ตัวอย่าง Output File

ORDER OF PARAMETERS IS AS FOLLOWS:

AS1=FIRST ADJUSTED SPOT

AS2=SECOND ADJUSTED SPOT

- (1) - AS1 LATITUDE
- (2) - AS1 LONGITUDE
- (3) - AS1 ANGULAR RADIUS
- (4) - AS1 TEMPERATURE FACTOR
- (5) - AS2 LATITUDE
- (6) - AS2 LONGITUDE
- (7) - AS2 ANGULAR RADIUS
- (8) - AS2 TEMPERATURE FACTOR
- (9) - A=ORBITAL SEMI-MAJOR AXIS
- (10) - E=ORBITAL ECCENTRICITY
- (11) - PERR0=ARGUMENT of PERIASTRON at time HJD0
- (12) - F1=STAR 1 ROTATION PARAMETER
- (13) - F2=STAR 2 ROTATION PARAMETER
- (14) - PHASE SHIFT= PHASE OF PRIMARY CONJUNCTION
- (15) - VGAM=SYSTEMIC RADIAL VELOCITY
- (16) - INCL=ORBITAL INCLINATION
- (17) - g1=STAR 1 GRAVITY DARKENING EXPONENT
- (18) - g2=STAR 2 GRAVITY DARKENING EXPONENT
- (19) - T1=STAR 1 AVERAGE SURFACE TEMPERATURE
- (20) - T2=STAR 2 AVERAGE SURFACE TEMPERATURE
- (21) - ALB1=STAR 1 BOLOMETRIC ALBEDO
- (22) - ALB2=STAR 2 BOLOMETRIC ALBEDO
- (23) - POT1=STAR 1 SURFACE POTENTIAL
- (24) - POT2=STAR 2 SURFACE POTENTIAL
- (25) - Q=MASS RATIO (STAR 2/STAR 1)
- (26) - HJD0= Hel. JD reference time
- (27) - PERIOD= orbital period
- (28) - DPDT= time derivative of orbital period
- (29) - DPERDT= time derivative of argument of periastron

- (30) - unused channel reserved for future expansion
 (31) - L1=STAR 1 RELATIVE MONOCHROMATIC LUMINOSITY
 (32) - L2=STAR 2 RELATIVE MONOCHROMATIC LUMINOSITY
 (33) - X1=STAR 1 LIMB DARKENING COEFFICIENT
 (34) - X2=STAR 2 LIMB DARKENING COEFFICIENT
 (35) - el3=third light

DEL LAT DEL LONG DEL RAD DEL TEMPF DEL LAT del LONG del RAD del TEMPF
 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01 0.2D-01

DEL EC DEL PER DEL F1 DEL F2 DEL PHS DEL INCL DEL G1 DEL G2 DEL T1
 DEL T2
 0.1D-01 0.1D+00 0.1D+00 0.1D+00 0.2D-02 -0.1D+01 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01 0.3D-02

DEL ALB1 DEL ALB2 DEL POT1 DEL POT2 DEL Q DEL L1 DEL L2 DEL X1 DEL X2
 0.1D-01 0.1D-01 0.3D-01 0.3D-01 0.5D-02 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01 0.1D-01

ADJUSTMENT CONTROL INTEGERS; 1 SUPPRESSES ADJUSTMENT, 0 ALLOWS ADJUSTMENT.

0000 0000 0111111 11112 22222 22223 33333

1234 5678 9012345 67890 12345 67890 12345

LLSS LLSS aELFFPV IggTT AAPPQ EPPDB LLXXL D M R x

AGRT AGRT P12S 1212 1212 P TTK 12123

1111 1111 1111111 01110 11010 11111 01111 1 1 1 0.100D-04

SPOTS TO BE ADJUSTED

STAR SPOT STAR SPOT

1 0 2 0

IFVC1 IFVC2 NLC KO KDISK ISYM nppl

0 0 3 0 2 0 3

nref mref ifsmv1 ifsmv2 icor1 icor2 ld

1 1 1 1 1 1 2

JDPHS J.D. zero Period dPdt Ph. shift

2 2454449.182660 0.3306021200D+00 -0.696397D-10 0.0001

MODE IPB IFAT1 IFAT2 N1 N2 N1L N2L Arg Per dperdt TH e V unit(km/s) V FAC

3 0 0 0 30 30 15 15 3.141593 0.00000D+00 0.00000 100.000 2711.3670

ecc S-M axis F1 F2 V Gam INCL G1 G2 Nspot 1 Nspot 2 [M/H] iab

.00000 0.177100D+02 1.0000 1.0000 -0.1320 83.630 0.320 0.320 0 0 0.00 6

T1 T2 Alb 1 Alb 2 Pot 1 Pot 2 M2/M1 x1(bolo) x2(bolo) y1(bolo) y2(bolo)

0.6000 0.5775 0.500 0.500 0.556992D+01 0.556992D+01 0.229479D+01 70.570 91.560 82.790

82.520

band L1 L2 x1 x2 y1 y2 3rd lt opsf NOISE Sigma Wave L

5 4.41767 7.22615 0.750 0.750 0.190 0.371 0.0000 0.000D+00 2 0.10000D-01 0.430000

6 4.34506 7.41851 0.620 0.620 0.190 0.371 0.0000 0.000D+00 2 0.10000D-01 0.525000

7 4.22409 7.50987 0.500 0.500 0.241 0.314 0.0000 0.000D+00 2 0.10000D-01 0.595000

OBSERVATIONS

phase light wt phase light wt phase light wt

0.01225 0.5068 1.00 0.01939 0.5138 1.00 0.02650 0.5282 1.00

0.03364 0.5450 1.00 0.04078 0.5681 1.00 0.04791 0.5992 1.00

0.05505 0.6240 1.00 0.06219 0.6504 1.00 0.06999 0.6880 1.00

0.07713 0.7125 1.00 0.08430 0.7332 1.00 0.09144 0.7691 1.00

0.09858 0.7899 1.00 0.10569 0.8128 1.00 0.11282 0.8341 1.00

0.11996 0.8395 1.00 0.12713 0.8519 1.00 0.13427 0.8519 1.00

0.14141 0.8630 1.00 0.14858 0.8790 1.00 0.15572 0.9012 1.00

0.16294 0.9145 1.00 0.19767 0.9559 1.00 0.20484 0.9638 1.00

0.21197 0.9692 1.00 0.21960 0.9559 1.00 0.22674 0.9817 1.00

0.23387 0.9845 1.00 0.24101 0.9665 1.00 0.24815 0.9736 1.00

0.25532 0.9772 1.00 0.26246 0.9808 1.00 0.26960 0.9710 1.00

0.27673 0.9781 1.00 0.28387 0.9621 1.00 0.29101 0.9817 1.00

0.29815 0.9927 1.00 0.30526 0.9754 1.00 0.31240 0.9638 1.00

0.31953 0.9665 1.00 0.32670 0.9393 1.00 0.33384 0.9402 1.00

0.34098	0.9419	1.00	0.34812	0.9255	1.00	0.35526	0.9145	1.00
0.36239	0.9045	1.00	0.36953	0.8937	1.00	0.37667	0.8863	1.00
0.38378	0.8726	1.00	0.39092	0.8519	1.00	0.39805	0.8226	1.00
0.40522	0.8143	1.00	0.41236	0.7995	1.00	0.41947	0.7741	1.00
0.42661	0.7509	1.00	0.43375	0.7218	1.00	0.44088	0.7112	1.00
0.44802	0.6836	1.00	0.45513	0.6486	1.00	0.46227	0.6206	1.00
0.46941	0.6115	1.00	0.47652	0.5733	1.00	0.48365	0.5818	1.00
0.49079	0.5541	1.00	0.50504	0.5749	1.00	0.51221	0.5760	1.00
0.52648	0.5733	1.00	0.53359	0.5948	1.00	0.54073	0.6269	1.00
0.54787	0.6457	1.00	0.55501	0.6619	1.00	0.56215	0.6780	1.00
0.56925	0.7171	1.00	0.58386	0.7734	1.00	0.59006	0.7973	1.00
0.59097	0.7684	1.00	0.59723	0.7770	1.00	0.59811	0.8054	1.00
0.60525	0.8249	1.00	0.61151	0.8287	1.00	0.61236	0.8295	1.00
0.61865	0.8654	1.00	0.61949	0.8457	1.00	0.62579	0.8782	1.00
0.63289	0.8646	1.00	0.64003	0.8995	1.00	0.64088	0.8815	1.00
0.64717	0.9087	1.00	0.65431	0.8995	1.00	0.66142	0.9324	1.00
0.66856	0.9445	1.00	0.67572	0.9255	1.00	0.68286	0.9524	1.00
0.68994	0.9445	1.00	0.69711	0.9550	1.00	0.70425	0.9692	1.00
0.71139	0.9808	1.00	0.71849	0.9863	1.00	0.72563	0.9899	1.00
0.73277	0.9899	1.00	0.73991	1.0000	1.00	0.74705	0.9745	1.00
0.75415	0.9845	1.00	0.76129	0.9863	1.00	0.76843	0.9719	1.00
0.77560	0.9629	1.00	0.78271	0.9647	1.00	0.78985	0.9612	1.00
0.79698	0.9524	1.00	0.80412	0.9471	1.00	0.81123	0.9524	1.00
0.81837	0.9281	1.00	0.82551	0.9333	1.00	0.83265	0.9103	1.00
0.83975	0.9070	1.00	0.84750	0.8831	1.00	0.85464	0.8758	1.00
0.86174	0.8686	1.00	0.86888	0.8543	1.00	0.87602	0.8504	1.00
0.88316	0.8302	1.00	0.89027	0.8204	1.00	0.89741	0.7973	1.00
0.90454	0.7727	1.00	0.91171	0.7468	1.00	0.91882	0.7211	1.00
0.92596	0.6969	1.00	0.93310	0.6699	1.00	0.94024	0.6439	1.00
0.94737	0.6200	1.00	0.95448	0.5905	1.00	0.96162	0.5629	1.00
0.96876	0.5385	1.00	0.97590	0.5162	1.00	0.98303	0.5152	1.00
0.99014	0.5110	1.00	0.99731	0.5100	1.00	0.00000	0.0000	0.00
-10002.00000	0.0000	0.00	0.00000	0.0000	0.00	0.00000	0.0000	0.00

phase	light	wt	phase	light	wt	phase	light	wt
0.00660	0.5321	1.00	0.01440	0.5292	1.00	0.02151	0.5385	1.00
0.02865	0.5536	1.00	0.03579	0.5728	1.00	0.04295	0.5905	1.00
0.05009	0.6206	1.00	0.05723	0.6552	1.00	0.07217	0.7204	1.00
0.07931	0.7393	1.00	0.08645	0.7628	1.00	0.09359	0.7900	1.00
0.10070	0.8173	1.00	0.10783	0.8302	1.00	0.11497	0.8535	1.00
0.12214	0.8638	1.00	0.12931	0.8702	1.00	0.13645	0.8734	1.00
0.14359	0.8888	1.00	0.15072	0.9053	1.00	0.15798	0.9145	1.00
0.16512	0.9445	1.00	0.19271	0.9612	1.00	0.19985	0.9656	1.00
0.20698	0.9710	1.00	0.21412	0.9890	1.00	0.22177	0.9763	1.00
0.22891	0.9854	1.00	0.23605	0.9963	1.00	0.24319	0.9863	1.00
0.25033	0.9836	1.00	0.25747	0.9854	1.00	0.26457	0.9845	1.00
0.27171	0.9881	1.00	0.27885	0.9899	1.00	0.28599	0.9790	1.00
0.29313	0.9899	1.00	0.30030	0.9854	1.00	0.30743	0.9808	1.00
0.31457	0.9701	1.00	0.32171	0.9621	1.00	0.32885	0.9550	1.00
0.33599	0.9506	1.00	0.34313	0.9367	1.00	0.35026	0.9281	1.00
0.35740	0.9120	1.00	0.36451	0.9053	1.00	0.37168	0.8970	1.00
0.37882	0.8806	1.00	0.38596	0.8670	1.00	0.39309	0.8527	1.00
0.40023	0.8356	1.00	0.40737	0.8241	1.00	0.41448	0.8039	1.00
0.42162	0.7755	1.00	0.42876	0.7530	1.00	0.43589	0.7218	1.00
0.44306	0.7002	1.00	0.45014	0.6805	1.00	0.45728	0.6558	1.00
0.46445	0.6304	1.00	0.47156	0.6087	1.00	0.47869	0.5894	1.00
0.48583	0.5770	1.00	0.49297	0.5686	1.00	0.50008	0.5739	1.00
0.50722	0.5765	1.00	0.51435	0.5728	1.00	0.52149	0.5883	1.00
0.52860	0.5992	1.00	0.53574	0.6304	1.00	0.54288	0.6315	1.00
0.55005	0.6817	1.00	0.55718	0.7178	1.00	0.56429	0.7278	1.00
0.57143	0.7593	1.00	0.57887	0.7777	1.00	0.58598	0.7755	1.00
0.59224	0.7958	1.00	0.59312	0.7965	1.00	0.59938	0.8249	1.00
0.60026	0.8287	1.00	0.60652	0.8441	1.00	0.60736	0.8433	1.00
0.61366	0.8702	1.00	0.61450	0.8527	1.00	0.62080	0.8566	1.00
0.62167	0.8574	1.00	0.62790	0.8815	1.00	0.63507	0.8987	1.00
0.63592	0.9070	1.00	0.64221	0.9213	1.00	0.64306	0.8970	1.00
0.64935	0.9238	1.00	0.65016	0.8954	1.00	0.65646	0.9290	1.00
0.65730	0.9154	1.00	0.66360	0.9333	1.00	0.66444	0.9162	1.00
0.67073	0.9471	1.00	0.67155	0.9145	1.00	0.67787	0.9436	1.00

0.67869	0.9112	1.00	0.68498	0.9559	1.00	0.68583	0.9799	1.00
0.69212	0.9656	1.00	0.69926	0.9629	1.00	0.70639	0.9736	1.00
0.70806	0.9541	1.00	0.71350	0.9745	1.00	0.71517	0.9710	1.00
0.72064	1.0000	1.00	0.72230	0.9665	1.00	0.72778	0.9890	1.00
0.73495	0.9908	1.00	0.74209	0.9954	1.00	0.74919	0.9881	1.00
0.75633	0.9890	1.00	0.76347	0.9890	1.00	0.77058	0.9745	1.00
0.77772	0.9701	1.00	0.78486	0.9727	1.00	0.79199	0.9585	1.00
0.79913	0.9594	1.00	0.80624	0.9550	1.00	0.81338	0.9489	1.00
0.82052	0.9384	1.00	0.82769	0.9376	1.00	0.83479	0.9230	1.00
0.84193	0.9137	1.00	0.84965	0.8978	1.00	0.85675	0.8921	1.00
0.86389	0.8806	1.00	0.87106	0.8710	1.00	0.87820	0.8464	1.00
0.88531	0.8480	1.00	0.89244	0.8226	1.00	0.89958	0.8032	1.00
0.90669	0.7820	1.00	0.91383	0.7572	1.00	0.92097	0.7325	1.00
0.92811	0.7119	1.00	0.93524	0.6830	1.00	0.94235	0.6558	1.00
0.94949	0.6252	1.00	0.95666	0.5976	1.00	0.96380	0.5760	1.00
0.97094	0.5562	1.00	0.97807	0.5385	1.00	0.98518	0.5277	1.00
0.99232	0.5253	1.00	0.99946	0.5316	1.00	0.00000	0.0000	0.00
-10002.00000	0.0000	0.00	0.00000	0.0000	0.00	0.00000	0.0000	0.00

phase	light	wt	phase	light	wt	phase	light	wt
0.00209	0.5365	1.00	0.00923	0.5375	1.00	0.02420	0.5480	1.00
0.03134	0.5628	1.00	0.03848	0.5861	1.00	0.04562	0.6109	1.00
0.05272	0.6403	1.00	0.05986	0.6674	1.00	0.06700	0.6982	1.00
0.07483	0.7264	1.00	0.08200	0.7488	1.00	0.08914	0.7755	1.00
0.09625	0.7979	1.00	0.10339	0.8135	1.00	0.11053	0.8271	1.00
0.11766	0.8471	1.00	0.12483	0.8558	1.00	0.13197	0.8709	1.00
0.13911	0.8814	1.00	0.14622	0.8863	1.00	0.15336	0.9086	1.00
0.16065	0.9128	1.00	0.19537	0.9611	1.00	0.20254	0.9673	1.00
0.20968	0.9682	1.00	0.21675	0.9762	1.00	0.22444	0.9655	1.00
0.23157	0.9771	1.00	0.23871	0.9817	1.00	0.24585	0.9826	1.00
0.25296	0.9871	1.00	0.26010	0.9853	1.00	0.26727	0.9862	1.00
0.27440	0.9808	1.00	0.28154	0.9826	1.00	0.28868	0.9808	1.00
0.29582	0.9789	1.00	0.30296	0.9780	1.00	0.31010	0.9673	1.00
0.31723	0.9620	1.00	0.32437	0.9575	1.00	0.33154	0.9427	1.00
0.33868	0.9392	1.00	0.34582	0.9297	1.00	0.35293	0.9263	1.00

0.36006	0.9102	1.00	0.36720	0.9044	1.00	0.37434	0.9027	1.00
0.38148	0.8781	1.00	0.38862	0.8693	1.00	0.39576	0.8558	1.00
0.40286	0.8317	1.00	0.41003	0.8135	1.00	0.41717	0.7921	1.00
0.42431	0.7726	1.00	0.43145	0.7412	1.00	0.43856	0.7277	1.00
0.44569	0.7001	1.00	0.45283	0.6760	1.00	0.45997	0.6492	1.00
0.46708	0.6211	1.00	0.47422	0.6098	1.00	0.48136	0.5861	1.00
0.48849	0.5807	1.00	0.49560	0.5786	1.00	0.50274	0.5791	1.00
0.50991	0.5754	1.00	0.51705	0.5796	1.00	0.52415	0.5948	1.00
0.53129	0.6109	1.00	0.53843	0.6332	1.00	0.54557	0.6649	1.00
0.55271	0.6816	1.00	0.55982	0.7053	1.00	0.56695	0.7224	1.00
0.57409	0.7474	1.00	0.58153	0.7769	1.00	0.58867	0.7906	1.00
0.59493	0.8128	1.00	0.59581	0.8165	1.00	0.60207	0.8409	1.00
0.60292	0.8256	1.00	0.60921	0.8597	1.00	0.61006	0.8448	1.00
0.61632	0.8581	1.00	0.61719	0.8566	1.00	0.62346	0.8822	1.00
0.62430	0.8701	1.00	0.63060	0.8978	1.00	0.63144	0.8912	1.00
0.63773	0.9052	1.00	0.63858	0.8945	1.00	0.64487	0.9036	1.00
0.64569	0.9119	1.00	0.65198	0.9187	1.00	0.65283	0.9144	1.00
0.65912	0.9323	1.00	0.65996	0.9212	1.00	0.66626	0.9392	1.00
0.66707	0.9128	1.00	0.67343	0.9453	1.00	0.67421	0.9323	1.00
0.68050	0.9540	1.00	0.68138	0.9444	1.00	0.68764	0.9531	1.00
0.69481	0.9637	1.00	0.70195	0.9727	1.00	0.70906	0.9771	1.00
0.71069	0.9844	1.00	0.71619	0.9789	1.00	0.71786	0.9744	1.00
0.72333	0.9898	1.00	0.72500	0.9798	1.00	0.73047	0.9999	1.00
0.73758	0.9880	1.00	0.73924	0.9935	1.00	0.75186	0.9917	1.00
0.75899	0.9835	1.00	0.76610	0.9798	1.00	0.77324	0.9798	1.00
0.78038	0.9691	1.00	0.78755	0.9736	1.00	0.79466	0.9646	1.00
0.80179	0.9629	1.00	0.80893	0.9567	1.00	0.81607	0.9453	1.00
0.82321	0.9409	1.00	0.83032	0.9332	1.00	0.83746	0.9221	1.00
0.84459	0.9136	1.00	0.85231	0.8969	1.00	0.85945	0.8912	1.00
0.86658	0.8798	1.00	0.87372	0.8637	1.00	0.88083	0.8581	1.00
0.88797	0.8363	1.00	0.89511	0.8173	1.00	0.90221	0.7972	1.00
0.90935	0.7747	1.00	0.91649	0.7509	1.00	0.92366	0.7291	1.00
0.93080	0.7020	1.00	0.93791	0.6766	1.00	0.94504	0.6474	1.00
0.95218	0.6182	1.00	0.95932	0.5975	1.00	0.96646	0.5733	1.00
0.97357	0.5541	1.00	0.98071	0.5360	1.00	0.98784	0.5360	1.00

```

0.99498 0.5365 1.00 0.00000 0.0000 0.00 0.00000 0.0000 0.00
-10001.00000 0.0000 0.00 0.00000 0.0000 0.00 0.00000 0.0000 0.00

```

Sums of squares of residuals for separate curves, including only individual weights

Curve	No. of obs.	Sum of squares
1	137	0.01976001
2	152	0.01550893
3	151	0.01021207

```
0000 0000 0111111 11112 22222 22223 33333
```

```
1234 5678 9012345 67890 12345 67890 12345
```

```
LLSS LLSS aELFFPV IggTT AAPPQ EPPDB LLXXL D M R x
```

```
AGRT AGRT P12S 1212 1212 P TTK 12123
```

```
1111 1111 1111111 01110 11010 11111 01111 1 1 1 0.100D-04
```

UNWEIGHTED OBSERVATIONAL EQUATIONS

-0.00214	6.02757	0.11872	0.00737	0.11364	0.00000	0.00000	0.00478
-0.00528	6.03256	0.11843	-0.01321	0.11472	0.00000	0.00000	0.00702
-0.00635	6.04066	0.12245	-0.03374	0.11782	0.00000	0.00000	0.00771
-0.00640	6.05236	0.13004	-0.04890	0.12249	0.00000	0.00000	0.00386
-0.00611	6.06918	0.13734	-0.06465	0.12824	0.00000	0.00000	0.00158
-0.00555	6.09006	0.14621	-0.07624	0.13468	0.00000	0.00000	0.00422
-0.00496	6.11540	0.15970	-0.09329	0.14146	0.00000	0.00000	-0.00095
-0.00414	6.14448	0.16473	-0.10724	0.14832	0.00000	0.00000	-0.00483
-0.00366	6.18164	0.17297	-0.13853	0.15573	0.00000	0.00000	0.00004
-0.00329	6.21748	0.18245	-0.11688	0.16218	0.00000	0.00000	-0.00398
-0.00276	6.25685	0.19187	-0.11899	0.16830	0.00000	0.00000	-0.01031
-0.00243	6.29642	0.19046	-0.12072	0.17401	0.00000	0.00000	0.00039
-0.00230	6.33679	0.20515	-0.14006	0.17919	0.00000	0.00000	-0.00169
-0.00161	6.38066	0.12352	-0.26367	0.18438	0.00000	0.00000	-0.00174
-0.00142	6.42198	0.15926	-0.03320	0.18830	0.00000	0.00000	0.00227
-0.00124	6.46301	0.20613	-0.00468	0.19182	0.00000	0.00000	-0.00791
-0.00134	6.50080	0.21247	-0.00593	0.19487	0.00000	0.00000	-0.00897

-0.00104	6.54207	0.19484	-0.01063	0.19766	0.00000	0.00000	-0.02130
-0.00095	6.58431	0.17772	-0.03003	0.20021	0.00000	0.00000	-0.02145
-0.00090	6.62905	0.16139	0.02269	0.20262	0.00000	0.00000	-0.01611
-0.00085	6.67598	0.14210	0.04725	0.20495	0.00000	0.00000	-0.00421
-0.00082	6.72500	0.12304	0.07200	0.20725	0.00000	0.00000	-0.00108
-0.00066	6.94639	0.04903	0.16068	0.21687	0.00000	0.00000	-0.00217
-0.00062	6.98362	0.03768	0.17236	0.21842	0.00000	0.00000	-0.00110
-0.00061	7.01740	0.02786	0.18194	0.21977	0.00000	0.00000	-0.00168
-0.00061	7.05187	0.01892	0.18961	0.22099	0.00000	0.00000	-0.02038
-0.00052	7.07802	0.01239	0.19432	0.22195	0.00000	0.00000	0.00121
-0.00054	7.09732	0.00740	0.19677	0.22266	0.00000	0.00000	0.00084
-0.00055	7.11006	0.00350	0.19762	0.22315	0.00000	0.00000	-0.01929
-0.00054	7.11703	0.00112	0.19582	0.22341	0.00000	0.00000	-0.01336
-0.00054	7.11890	0.00023	0.19181	0.22345	0.00000	0.00000	-0.00991
-0.00055	7.11522	0.00086	0.18558	0.22326	0.00000	0.00000	-0.00548
-0.00052	7.10481	0.00283	0.17699	0.22284	0.00000	0.00000	-0.01345
-0.00055	7.08663	0.00594	0.16695	0.22218	0.00000	0.00000	-0.00340
-0.00062	7.06000	0.01093	0.15457	0.22129	0.00000	0.00000	-0.01549
-0.00060	7.02743	0.01734	0.14000	0.22021	0.00000	0.00000	0.00890
-0.00063	6.99018	0.02502	0.12392	0.21890	0.00000	0.00000	0.02566
-0.00066	6.94659	0.03460	0.10640	0.21741	0.00000	0.00000	0.01496
-0.00067	6.89571	0.04578	0.08516	0.21573	0.00000	0.00000	0.01079
-0.00072	6.83948	0.05773	0.06338	0.21387	0.00000	0.00000	0.02168
-0.00076	6.77705	0.07072	0.03998	0.21186	0.00000	0.00000	0.00338
-0.00079	6.71057	0.08583	0.01426	0.20971	0.00000	0.00000	0.01375
-0.00082	6.63865	0.10238	-0.01294	0.20746	0.00000	0.00000	0.02540
-0.00089	6.56425	0.12113	-0.04093	0.20511	0.00000	0.00000	0.01939
-0.00090	6.48586	0.13885	-0.06696	0.20269	0.00000	0.00000	0.01909
-0.00103	6.39778	0.15745	-0.11487	0.20014	0.00000	0.00000	0.02036
-0.00105	6.30536	0.17056	-0.12195	0.19746	0.00000	0.00000	0.02138
-0.00115	6.20478	0.18279	-0.15559	0.19461	0.00000	0.00000	0.02658
-0.00142	6.08854	0.20697	-0.17243	0.19151	0.00000	0.00000	0.02656
-0.00136	5.96236	0.19408	-0.19750	0.18833	0.00000	0.00000	0.01991
-0.00108	5.82387	0.18023	-0.28413	0.18489	0.00000	0.00000	0.00584
-0.00161	5.64525	0.17007	-0.26499	0.18093	0.00000	0.00000	0.01502

-0.00161	5.47335	0.17707	-0.18945	0.17681	0.00000	0.00000	0.01841
-0.00211	5.30255	0.17227	-0.18592	0.17233	0.00000	0.00000	0.01280
-0.00284	5.11125	0.17632	-0.15901	0.16721	0.00000	0.00000	0.01223
-0.00265	4.83300	0.19870	-0.13104	0.16180	0.00000	0.00000	0.00702
-0.00279	4.56003	0.18598	-0.12023	0.15666	0.00000	0.00000	0.01915
-0.00297	4.31229	0.17892	-0.11410	0.15117	0.00000	0.00000	0.01577
-0.00382	4.05261	0.19131	-0.11551	0.14580	0.00000	0.00000	0.00450
-0.00515	3.79913	0.19221	-0.10214	0.14031	0.00000	0.00000	0.00076
-0.00550	3.54994	0.17488	-0.09131	0.13534	0.00000	0.00000	0.01360
-0.00681	3.35097	0.16767	-0.08069	0.13091	0.00000	0.00000	-0.00500
-0.00704	3.20948	0.18003	-0.06568	0.12750	0.00000	0.00000	0.01855
-0.00421	3.13306	0.15278	-0.05156	0.12610	0.00000	0.00000	-0.00299
-0.00376	3.11420	0.17146	-0.04809	0.12569	0.00000	0.00000	0.01963
-0.00523	3.15100	0.15494	-0.05275	0.12648	0.00000	0.00000	0.01727
-0.00661	3.42982	0.18038	-0.08486	0.13251	0.00000	0.00000	-0.01206
-0.00510	3.64138	0.19337	-0.09447	0.13723	0.00000	0.00000	-0.01144
-0.00495	3.89479	0.20430	-0.10616	0.14234	0.00000	0.00000	-0.00191
-0.00329	4.16254	0.17481	-0.11039	0.14799	0.00000	0.00000	-0.00808
-0.00328	4.41608	0.18850	-0.11863	0.15330	0.00000	0.00000	-0.01531
-0.00262	4.65766	0.18798	-0.12244	0.15872	0.00000	0.00000	-0.02319
-0.00375	4.94248	0.19497	-0.14049	0.16379	0.00000	0.00000	-0.00649
-0.00259	5.37541	0.20226	-0.18487	0.17427	0.00000	0.00000	0.00353
-0.00252	5.52573	0.17997	-0.19165	0.17803	0.00000	0.00000	0.01080
-0.00252	5.55864	0.18846	-0.19418	0.17854	0.00000	0.00000	-0.02032
-0.00170	5.68989	0.19820	-0.21055	0.18211	0.00000	0.00000	-0.02749
-0.00148	5.72163	0.20617	-0.21860	0.18259	0.00000	0.00000	-0.00124
-0.00170	5.88924	0.18467	-0.19972	0.18643	0.00000	0.00000	0.00130
-0.00128	6.00989	0.19571	-0.18373	0.18937	0.00000	0.00000	-0.00786
-0.00128	6.02359	0.19465	-0.18145	0.18974	0.00000	0.00000	-0.00871
-0.00150	6.12366	0.20603	-0.16125	0.19251	0.00000	0.00000	0.01497
-0.00146	6.13711	0.20395	-0.15896	0.19286	0.00000	0.00000	-0.00629
-0.00115	6.23943	0.17689	-0.15040	0.19553	0.00000	0.00000	0.01443
-0.00104	6.33385	0.16701	-0.11869	0.19830	0.00000	0.00000	-0.01141
-0.00098	6.42508	0.14960	-0.09642	0.20095	0.00000	0.00000	0.01176
-0.00094	6.43580	0.14641	-0.09045	0.20126	0.00000	0.00000	-0.00761

-0.00089	6.51059	0.13540	-0.05856	0.20345	0.00000	0.00000	0.00992
-0.00087	6.58781	0.11510	-0.03146	0.20585	0.00000	0.00000	-0.00990
-0.00083	6.66123	0.09736	-0.00457	0.20816	0.00000	0.00000	0.01280
-0.00078	6.73155	0.08107	0.02226	0.21039	0.00000	0.00000	0.01507
-0.00075	6.79706	0.06657	0.04707	0.21250	0.00000	0.00000	-0.01324
-0.00071	6.85724	0.05390	0.07030	0.21446	0.00000	0.00000	0.00499
-0.00068	6.91171	0.04251	0.09251	0.21625	0.00000	0.00000	-0.01081
-0.00065	6.96054	0.03137	0.11181	0.21789	0.00000	0.00000	-0.00755
-0.00061	7.00232	0.02250	0.12903	0.21933	0.00000	0.00000	0.00028
-0.00060	7.03795	0.01516	0.14486	0.22056	0.00000	0.00000	0.00642
-0.00061	7.06892	0.00917	0.15864	0.22158	0.00000	0.00000	0.00744
-0.00052	7.09301	0.00484	0.17018	0.22241	0.00000	0.00000	0.00739
-0.00053	7.10879	0.00212	0.17969	0.22299	0.00000	0.00000	0.00478
-0.00055	7.11693	0.00051	0.18774	0.22334	0.00000	0.00000	0.01336
-0.00054	7.11884	0.00033	0.19325	0.22346	0.00000	0.00000	-0.01267
-0.00054	7.11558	0.00165	0.19658	0.22336	0.00000	0.00000	-0.00222
-0.00056	7.10696	0.00450	0.19777	0.22303	0.00000	0.00000	0.00104
-0.00053	7.09230	0.00874	0.19626	0.22248	0.00000	0.00000	-0.01093
-0.00054	7.07098	0.01414	0.19321	0.22168	0.00000	0.00000	-0.01642
-0.00062	7.04275	0.02124	0.18780	0.22068	0.00000	0.00000	-0.01018
-0.00061	7.00980	0.03000	0.17990	0.21948	0.00000	0.00000	-0.00841
-0.00064	6.97558	0.04013	0.17006	0.21808	0.00000	0.00000	-0.01102
-0.00066	6.93768	0.05183	0.15801	0.21651	0.00000	0.00000	-0.00935
-0.00068	6.89543	0.06498	0.14270	0.21476	0.00000	0.00000	0.00365
-0.00073	6.84961	0.07906	0.12651	0.21286	0.00000	0.00000	-0.01226
-0.00076	6.80283	0.09410	0.10803	0.21083	0.00000	0.00000	0.00191
-0.00080	6.75607	0.11109	0.08712	0.20869	0.00000	0.00000	-0.01162
-0.00082	6.70804	0.12933	0.06298	0.20647	0.00000	0.00000	-0.00512
-0.00088	6.65603	0.15053	0.03571	0.20397	0.00000	0.00000	-0.01798
-0.00092	6.60964	0.16907	0.00914	0.20162	0.00000	0.00000	-0.01487
-0.00098	6.56675	0.19376	-0.00875	0.19914	0.00000	0.00000	-0.01115
-0.00104	6.52479	0.18977	-0.03855	0.19659	0.00000	0.00000	-0.01415
-0.00098	6.48523	0.20642	-0.02065	0.19370	0.00000	0.00000	-0.00531
-0.00128	6.44649	0.18597	-0.01608	0.19042	0.00000	0.00000	-0.01102
-0.00167	6.40496	0.15499	-0.00731	0.18672	0.00000	0.00000	-0.00448

-0.00177	6.36073	0.17229	-0.15789	0.18221	0.00000	0.00000	-0.00766
-0.00211	6.32051	0.19730	-0.12694	0.17713	0.00000	0.00000	-0.00981
-0.00249	6.28036	0.19533	-0.11928	0.17173	0.00000	0.00000	-0.01183
-0.00302	6.24038	0.18576	-0.11891	0.16586	0.00000	0.00000	-0.01161
-0.00326	6.20236	0.17645	-0.15298	0.15963	0.00000	0.00000	-0.00830
-0.00393	6.16812	0.17150	-0.10678	0.15299	0.00000	0.00000	-0.00596
-0.00457	6.13516	0.16259	-0.09849	0.14619	0.00000	0.00000	-0.00190
-0.00502	6.10657	0.15351	-0.08718	0.13933	0.00000	0.00000	0.00447
-0.00561	6.08351	0.14592	-0.07639	0.13266	0.00000	0.00000	0.00445
-0.00612	6.06349	0.13453	-0.06122	0.12640	0.00000	0.00000	0.00451
-0.00651	6.04834	0.12668	-0.04406	0.12091	0.00000	0.00000	0.00437
-0.00619	6.03783	0.12079	-0.02725	0.11666	0.00000	0.00000	0.00082
-0.00463	6.03076	0.11798	-0.00728	0.11415	0.00000	0.00000	0.01094
-0.00112	6.02641	0.11878	0.00727	0.11361	0.00000	0.00000	0.00909
-0.00058	6.02415	0.11892	0.00707	0.11357	0.00000	0.00000	0.00828
-0.00052	5.21314	0.11574	0.01636	0.00000	0.12031	0.00000	0.00935
-0.00368	5.21616	0.11481	0.00903	0.00000	0.12046	0.00000	0.00579
-0.00601	5.22069	0.11606	-0.01155	0.00000	0.12236	0.00000	0.00684
-0.00641	5.22772	0.12105	-0.03617	0.00000	0.12619	0.00000	0.00532
-0.00619	5.23771	0.12751	-0.04402	0.00000	0.13134	0.00000	0.00211
-0.00564	5.25239	0.13600	-0.05869	0.00000	0.13738	0.00000	-0.00643
-0.00511	5.26937	0.14598	-0.07288	0.00000	0.14388	0.00000	-0.00456
-0.00445	5.28985	0.15268	-0.07972	0.00000	0.15061	0.00000	0.00079
-0.00328	5.34399	0.16868	-0.09584	0.00000	0.16447	0.00000	0.00577
-0.00285	5.37211	0.17949	-0.09624	0.00000	0.17070	0.00000	-0.00240
-0.00255	5.40397	0.17753	-0.10235	0.00000	0.17655	0.00000	-0.00433
-0.00214	5.43531	0.18550	-0.15485	0.00000	0.18198	0.00000	-0.00073
-0.00188	5.46620	0.17136	-0.13351	0.00000	0.18699	0.00000	0.00482
-0.00151	5.50199	0.12359	-0.09757	0.00000	0.19178	0.00000	-0.00307
-0.00155	5.53507	0.16180	0.00255	0.00000	0.19551	0.00000	0.00400
-0.00112	5.56699	0.19056	-0.00238	0.00000	0.19889	0.00000	-0.00037
-0.00098	5.59777	0.18394	-0.04106	0.00000	0.20182	0.00000	-0.00674
-0.00088	5.63144	0.18551	0.00259	0.00000	0.20438	0.00000	-0.01463
-0.00085	5.66602	0.16513	0.01978	0.00000	0.20681	0.00000	-0.00979
-0.00082	5.70325	0.14999	0.05010	0.00000	0.20909	0.00000	-0.00321

-0.00075	5.74237	0.12948	0.07139	0.00000	0.21137	0.00000	-0.00392
-0.00074	5.78192	0.11201	0.09426	0.00000	0.21355	0.00000	0.01663
-0.00061	5.92272	0.05702	0.15892	0.00000	0.22104	0.00000	0.00077
-0.00061	5.95287	0.04538	0.16921	0.00000	0.22264	0.00000	-0.00178
-0.00055	5.97932	0.03573	0.17836	0.00000	0.22407	0.00000	-0.00261
-0.00057	6.00393	0.02715	0.18558	0.00000	0.22532	0.00000	0.00999
-0.00053	6.02874	0.01957	0.19132	0.00000	0.22643	0.00000	-0.00755
-0.00045	6.04523	0.01448	0.19387	0.00000	0.22729	0.00000	-0.00218
-0.00050	6.05583	0.01055	0.19512	0.00000	0.22790	0.00000	0.00607
-0.00050	6.06090	0.00744	0.19435	0.00000	0.22829	0.00000	-0.00562
-0.00048	6.06161	0.00581	0.19143	0.00000	0.22847	0.00000	-0.00911
-0.00050	6.05859	0.00548	0.18654	0.00000	0.22843	0.00000	-0.00714
-0.00049	6.05114	0.00663	0.17962	0.00000	0.22818	0.00000	-0.00698
-0.00044	6.03767	0.00855	0.17076	0.00000	0.22771	0.00000	-0.00132
-0.00053	6.01748	0.01163	0.16076	0.00000	0.22699	0.00000	0.00363
-0.00056	5.99014	0.01663	0.14826	0.00000	0.22608	0.00000	-0.00332
-0.00055	5.95976	0.02296	0.13429	0.00000	0.22497	0.00000	0.01240
-0.00059	5.92560	0.03032	0.11869	0.00000	0.22364	0.00000	0.01366
-0.00061	5.88640	0.03993	0.10257	0.00000	0.22214	0.00000	0.01558
-0.00061	5.84111	0.05035	0.08150	0.00000	0.22047	0.00000	0.01213
-0.00066	5.79262	0.06165	0.05957	0.00000	0.21864	0.00000	0.01211
-0.00071	5.73970	0.07412	0.03851	0.00000	0.21667	0.00000	0.01356
-0.00074	5.68399	0.08901	0.01416	0.00000	0.21457	0.00000	0.01828
-0.00075	5.62436	0.10497	-0.01198	0.00000	0.21239	0.00000	0.01387
-0.00082	5.56369	0.12443	-0.03768	0.00000	0.21011	0.00000	0.01517
-0.00083	5.49779	0.13664	-0.06446	0.00000	0.20776	0.00000	0.00927
-0.00097	5.42347	0.15572	-0.09152	0.00000	0.20523	0.00000	0.01358
-0.00110	5.34814	0.16757	-0.12135	0.00000	0.20257	0.00000	0.01681
-0.00095	5.25714	0.17892	-0.21721	0.00000	0.19973	0.00000	0.01278
-0.00122	5.16528	0.20273	-0.16136	0.00000	0.19658	0.00000	0.01285
-0.00161	5.05602	0.18618	-0.16426	0.00000	0.19334	0.00000	0.01263
-0.00210	4.92909	0.20430	-0.16497	0.00000	0.18953	0.00000	0.01208
-0.00188	4.78555	0.16044	-0.19107	0.00000	0.18572	0.00000	0.01714
-0.00153	4.63212	0.16963	-0.23187	0.00000	0.18152	0.00000	0.01520
-0.00247	4.49482	0.20508	-0.15692	0.00000	0.17656	0.00000	0.00835

-0.00375	4.32462	0.20908	-0.17266	0.00000	0.17118	0.00000	0.00920
-0.00278	4.05685	0.18049	-0.10431	0.00000	0.16602	0.00000	0.00042
-0.00352	3.85688	0.18244	-0.09592	0.00000	0.16060	0.00000	0.00238
-0.00276	3.65009	0.16221	-0.09071	0.00000	0.15533	0.00000	0.00558
-0.00445	3.43667	0.17283	-0.08915	0.00000	0.14976	0.00000	0.00508
-0.00526	3.20841	0.17817	-0.07835	0.00000	0.14433	0.00000	0.00326
-0.00593	3.02635	0.15942	-0.06805	0.00000	0.13949	0.00000	0.00262
-0.00644	2.87400	0.15273	-0.05598	0.00000	0.13539	0.00000	0.00110
-0.00584	2.77387	0.16033	-0.04025	0.00000	0.13265	0.00000	0.00063
-0.00272	2.74527	0.14257	-0.02760	0.00000	0.13190	0.00000	-0.00453
-0.00267	2.74097	0.14888	-0.02088	0.00000	0.13162	0.00000	0.00198
-0.00290	2.74425	0.14095	-0.02507	0.00000	0.13187	0.00000	0.00352
-0.00573	2.78755	0.15924	-0.04004	0.00000	0.13266	0.00000	-0.00359
-0.00639	2.87514	0.15256	-0.05242	0.00000	0.13539	0.00000	0.00002
-0.00596	3.02899	0.17120	-0.03682	0.00000	0.13944	0.00000	-0.00669
-0.00529	3.20711	0.17714	-0.07799	0.00000	0.14432	0.00000	0.00332
-0.00462	3.43391	0.17694	-0.09288	0.00000	0.14970	0.00000	-0.01896
-0.00271	3.65147	0.16197	-0.09050	0.00000	0.15533	0.00000	0.00678
-0.00358	3.85748	0.19678	-0.09529	0.00000	0.16062	0.00000	0.01989
-0.00279	4.06536	0.18052	-0.10346	0.00000	0.16602	0.00000	0.00645
-0.00374	4.31766	0.20837	-0.17164	0.00000	0.17118	0.00000	0.01553
-0.00238	4.49969	0.18089	-0.29647	0.00000	0.17690	0.00000	0.00905
-0.00154	4.63778	0.17057	-0.23653	0.00000	0.18167	0.00000	-0.01385
-0.00195	4.77385	0.14947	-0.33579	0.00000	0.18540	0.00000	-0.00978
-0.00184	4.78955	0.16132	-0.19177	0.00000	0.18588	0.00000	-0.01115
-0.00210	4.91904	0.20391	-0.18441	0.00000	0.18924	0.00000	0.00266
-0.00210	4.93457	0.20405	-0.16377	0.00000	0.18967	0.00000	0.00457
-0.00170	5.04832	0.17509	-0.17554	0.00000	0.19306	0.00000	0.00526
-0.00162	5.06088	0.18723	-0.16379	0.00000	0.19345	0.00000	0.00277
-0.00120	5.15694	0.19148	-0.16241	0.00000	0.19633	0.00000	0.01712
-0.00120	5.16771	0.20217	-0.16106	0.00000	0.19670	0.00000	-0.00196
-0.00113	5.24981	0.18518	-0.17964	0.00000	0.19945	0.00000	-0.01004
-0.00094	5.26557	0.17784	-0.17861	0.00000	0.19984	0.00000	-0.01093
-0.00116	5.34126	0.17115	-0.12190	0.00000	0.20233	0.00000	0.00238
-0.00095	5.41717	0.15653	-0.09418	0.00000	0.20500	0.00000	0.00794

-0.00097	5.42571	0.15538	-0.09044	0.00000	0.20531	0.00000	0.01492
-0.00082	5.49188	0.13748	-0.06702	0.00000	0.20756	0.00000	0.01944
-0.00082	5.50021	0.13586	-0.06345	0.00000	0.20785	0.00000	-0.00611
-0.00082	5.55852	0.12579	-0.03877	0.00000	0.20992	0.00000	0.01170
-0.00082	5.56560	0.12363	-0.03631	0.00000	0.21018	0.00000	-0.01784
-0.00076	5.61921	0.10654	-0.01410	0.00000	0.21219	0.00000	0.00701
-0.00075	5.62631	0.10438	-0.01127	0.00000	0.21246	0.00000	-0.00774
-0.00075	5.67895	0.09038	0.01199	0.00000	0.21439	0.00000	0.00177
-0.00074	5.68588	0.08845	0.01493	0.00000	0.21464	0.00000	-0.01642
-0.00071	5.73504	0.07543	0.03616	0.00000	0.21649	0.00000	0.00643
-0.00071	5.74120	0.07371	0.03921	0.00000	0.21673	0.00000	-0.02719
-0.00066	5.78819	0.06263	0.05773	0.00000	0.21847	0.00000	-0.00567
-0.00066	5.79405	0.06136	0.06027	0.00000	0.21869	0.00000	-0.03903
-0.00062	5.83683	0.05136	0.07963	0.00000	0.22031	0.00000	-0.00137
-0.00061	5.84242	0.05006	0.08201	0.00000	0.22052	0.00000	0.02172
-0.00061	5.88253	0.04094	0.10091	0.00000	0.22200	0.00000	0.00101
-0.00059	5.92228	0.03110	0.11730	0.00000	0.22352	0.00000	-0.00829
-0.00055	5.95675	0.02358	0.13284	0.00000	0.22485	0.00000	-0.00339
-0.00054	5.96403	0.02199	0.13646	0.00000	0.22513	0.00000	-0.02412
-0.00056	5.98719	0.01716	0.14695	0.00000	0.22598	0.00000	-0.00739
-0.00057	5.99408	0.01589	0.14992	0.00000	0.22621	0.00000	-0.01190
-0.00054	6.01504	0.01202	0.15963	0.00000	0.22690	0.00000	0.01409
-0.00051	6.02060	0.01105	0.16224	0.00000	0.22710	0.00000	-0.02025
-0.00043	6.03600	0.00882	0.16984	0.00000	0.22765	0.00000	-0.00016
-0.00048	6.05015	0.00677	0.17872	0.00000	0.22815	0.00000	-0.00053
-0.00050	6.05810	0.00553	0.18601	0.00000	0.22842	0.00000	0.00292
-0.00048	6.06145	0.00572	0.19106	0.00000	0.22847	0.00000	-0.00463
-0.00049	6.06114	0.00724	0.19414	0.00000	0.22831	0.00000	-0.00303
-0.00050	6.05653	0.01018	0.19512	0.00000	0.22794	0.00000	-0.00143
-0.00045	6.04655	0.01404	0.19403	0.00000	0.22736	0.00000	-0.01339
-0.00051	6.03069	0.01894	0.19163	0.00000	0.22652	0.00000	-0.01416
-0.00058	6.00817	0.02586	0.18654	0.00000	0.22551	0.00000	-0.00714
-0.00055	5.98350	0.03413	0.17986	0.00000	0.22430	0.00000	-0.01611
-0.00060	5.95765	0.04350	0.17098	0.00000	0.22290	0.00000	-0.00910
-0.00060	5.92836	0.05483	0.16079	0.00000	0.22133	0.00000	-0.00671

-0.00062	5.89406	0.06728	0.14612	0.00000	0.21960	0.00000	-0.00528
-0.00066	5.85803	0.08065	0.13142	0.00000	0.21773	0.00000	-0.00763
-0.00070	5.82047	0.09467	0.11489	0.00000	0.21572	0.00000	0.00027
-0.00074	5.78351	0.11130	0.09514	0.00000	0.21363	0.00000	-0.00525
-0.00075	5.74396	0.12870	0.07228	0.00000	0.21146	0.00000	-0.00512
-0.00079	5.70233	0.14959	0.04435	0.00000	0.20904	0.00000	-0.01051
-0.00085	5.66534	0.16565	0.01989	0.00000	0.20676	0.00000	-0.00630
-0.00089	5.63039	0.18545	0.00217	0.00000	0.20433	0.00000	-0.00723
-0.00118	5.59709	0.19059	-0.00578	0.00000	0.20172	0.00000	-0.00547
-0.00108	5.56638	0.19229	0.00480	0.00000	0.19882	0.00000	-0.01748
-0.00144	5.53472	0.16057	0.00320	0.00000	0.19547	0.00000	-0.00133
-0.00153	5.50187	0.12191	-0.09930	0.00000	0.19174	0.00000	-0.01052
-0.00185	5.46617	0.17267	-0.12833	0.00000	0.18693	0.00000	-0.00903
-0.00214	5.43463	0.18753	-0.13479	0.00000	0.18192	0.00000	-0.00845
-0.00257	5.40386	0.17830	-0.10287	0.00000	0.17648	0.00000	-0.00963
-0.00285	5.37192	0.17737	-0.10608	0.00000	0.17063	0.00000	-0.00892
-0.00341	5.34358	0.16879	-0.09597	0.00000	0.16438	0.00000	-0.00235
-0.00394	5.31651	0.16077	-0.08709	0.00000	0.15787	0.00000	-0.00296
-0.00442	5.29182	0.15770	-0.08024	0.00000	0.15117	0.00000	-0.00104
-0.00501	5.27089	0.14847	-0.07086	0.00000	0.14448	0.00000	-0.00258
-0.00570	5.25371	0.13670	-0.05959	0.00000	0.13788	0.00000	-0.00151
-0.00618	5.23881	0.12832	-0.04419	0.00000	0.13181	0.00000	0.00327
-0.00634	5.22839	0.12129	-0.02952	0.00000	0.12658	0.00000	0.00621
-0.00596	5.22118	0.11643	-0.01391	0.00000	0.12264	0.00000	0.00562
-0.00410	5.21649	0.11490	0.00725	0.00000	0.12052	0.00000	0.00402
-0.00062	5.21348	0.11569	0.01645	0.00000	0.12032	0.00000	0.00252
-0.00053	5.21241	0.11577	0.01632	0.00000	0.12029	0.00000	0.00892
-0.00048	4.31479	0.11130	0.02417	0.00000	0.00000	0.12667	0.00142
-0.00096	4.31582	0.11121	0.02431	0.00000	0.00000	0.12671	0.00228
-0.00625	4.32274	0.11323	-0.01306	0.00000	0.00000	0.13024	-0.00216
-0.00617	4.32855	0.11858	-0.02652	0.00000	0.00000	0.13479	-0.00656
-0.00572	4.33763	0.12514	-0.05202	0.00000	0.00000	0.14039	-0.00694
-0.00521	4.34952	0.13352	-0.06861	0.00000	0.00000	0.14663	-0.00847
-0.00465	4.36291	0.14026	-0.06119	0.00000	0.00000	0.15312	-0.00651
-0.00412	4.37922	0.14699	-0.07367	0.00000	0.00000	0.15979	-0.00756

-0.00349	4.39901	0.15471	-0.09850	0.00000	0.00000	0.16630	-0.00426
-0.00297	4.42159	0.16296	-0.07586	0.00000	0.00000	0.17318	-0.00514
-0.00269	4.44412	0.16292	-0.08138	0.00000	0.00000	0.17918	-0.00807
-0.00216	4.46811	0.17220	-0.08590	0.00000	0.00000	0.18474	-0.00487
-0.00189	4.49180	0.16938	-0.09943	0.00000	0.00000	0.18985	-0.00406
-0.00169	4.51632	0.14231	-0.11199	0.00000	0.00000	0.19475	-0.00914
-0.00154	4.54344	0.12891	0.04239	0.00000	0.00000	0.19904	-0.01367
-0.00127	4.56918	0.16525	0.09090	0.00000	0.00000	0.20256	-0.00854
-0.00095	4.59181	0.18509	0.06218	0.00000	0.00000	0.20570	-0.01311
-0.00090	4.61645	0.17284	0.03060	0.00000	0.00000	0.20844	-0.00957
-0.00094	4.64319	0.17667	0.03402	0.00000	0.00000	0.21082	-0.00914
-0.00078	4.67059	0.15062	0.04705	0.00000	0.00000	0.21316	-0.01409
-0.00073	4.70078	0.13430	0.07092	0.00000	0.00000	0.21534	-0.00102
-0.00068	4.73179	0.11613	0.09139	0.00000	0.00000	0.21753	-0.00605
-0.00054	4.86729	0.05152	0.16576	0.00000	0.00000	0.22669	0.00354
-0.00053	4.88828	0.04135	0.17386	0.00000	0.00000	0.22819	0.00341
-0.00048	4.90628	0.03304	0.18037	0.00000	0.00000	0.22952	-0.00132
-0.00053	4.92413	0.02596	0.18597	0.00000	0.00000	0.23064	0.00196
-0.00041	4.94057	0.01976	0.18953	0.00000	0.00000	0.23168	-0.01312
-0.00041	4.94976	0.01587	0.19051	0.00000	0.00000	0.23243	-0.00472
-0.00045	4.95407	0.01251	0.19116	0.00000	0.00000	0.23295	-0.00229
-0.00044	4.95440	0.01016	0.18911	0.00000	0.00000	0.23326	-0.00271
-0.00043	4.95175	0.00907	0.18545	0.00000	0.00000	0.23337	0.00132
-0.00045	4.94635	0.00915	0.18014	0.00000	0.00000	0.23328	-0.00007
-0.00041	4.93719	0.01039	0.17225	0.00000	0.00000	0.23298	0.00208
-0.00037	4.92282	0.01210	0.16402	0.00000	0.00000	0.23244	-0.00106
-0.00052	4.90237	0.01524	0.15421	0.00000	0.00000	0.23167	0.00400
-0.00049	4.87728	0.02007	0.14229	0.00000	0.00000	0.23074	0.00613
-0.00049	4.85114	0.02599	0.12861	0.00000	0.00000	0.22960	0.00905
-0.00053	4.82164	0.03334	0.11422	0.00000	0.00000	0.22826	0.01379
-0.00055	4.78769	0.04323	0.09804	0.00000	0.00000	0.22675	0.00949
-0.00058	4.74958	0.05261	0.07788	0.00000	0.00000	0.22508	0.01125
-0.00062	4.70914	0.06297	0.05784	0.00000	0.00000	0.22325	0.01446
-0.00064	4.66606	0.07549	0.03639	0.00000	0.00000	0.22129	0.00795
-0.00068	4.62022	0.09023	0.01211	0.00000	0.00000	0.21922	0.01319

-0.00071	4.57281	0.10647	-0.01140	0.00000	0.00000	0.21707	0.01278
-0.00072	4.52422	0.12568	-0.03608	0.00000	0.00000	0.21484	0.01878
-0.00077	4.46938	0.13437	-0.07558	0.00000	0.00000	0.21251	0.01253
-0.00088	4.40955	0.15140	-0.09133	0.00000	0.00000	0.20995	0.01757
-0.00103	4.34816	0.15701	-0.11862	0.00000	0.00000	0.20723	0.02733
-0.00141	4.27153	0.19089	-0.12810	0.00000	0.00000	0.20424	0.01537
-0.00112	4.19660	0.17325	-0.14562	0.00000	0.00000	0.20112	0.01975
-0.00118	4.10297	0.15699	-0.22199	0.00000	0.00000	0.19776	0.02046
-0.00153	3.97757	0.17075	-0.17641	0.00000	0.00000	0.19379	0.01312
-0.00251	3.86637	0.14842	-0.15558	0.00000	0.00000	0.18963	0.01249
-0.00259	3.75070	0.15395	-0.16985	0.00000	0.00000	0.18520	0.00981
-0.00299	3.62700	0.17337	-0.12600	0.00000	0.00000	0.17998	0.01233
-0.00293	3.44501	0.16600	-0.09996	0.00000	0.00000	0.17452	0.00399
-0.00221	3.26739	0.15907	-0.08051	0.00000	0.00000	0.16931	0.01252
-0.00309	3.10448	0.15314	-0.07375	0.00000	0.00000	0.16371	0.00856
-0.00306	2.93324	0.15302	-0.06919	0.00000	0.00000	0.15827	0.00746
-0.00477	2.75701	0.16463	-0.06050	0.00000	0.00000	0.15252	0.00496
-0.00497	2.59028	0.15503	-0.05234	0.00000	0.00000	0.14734	-0.00129
-0.00633	2.45030	0.15227	-0.04307	0.00000	0.00000	0.14262	0.00736
-0.00607	2.34680	0.14326	-0.00760	0.00000	0.00000	0.13902	-0.00112
-0.00385	2.29527	0.13495	0.01299	0.00000	0.00000	0.13721	0.00111
-0.00224	2.28108	0.14771	-0.01125	0.00000	0.00000	0.13677	0.00088
-0.00233	2.27924	0.13654	-0.00447	0.00000	0.00000	0.13672	0.00156
-0.00321	2.28824	0.13306	-0.00953	0.00000	0.00000	0.13703	-0.00343
-0.00603	2.32999	0.14334	-0.02598	0.00000	0.00000	0.13832	-0.00467
-0.00643	2.41833	0.14540	-0.03973	0.00000	0.00000	0.14160	-0.00332
-0.00499	2.54903	0.15149	-0.05053	0.00000	0.00000	0.14614	-0.00642
-0.00510	2.71434	0.16741	-0.06203	0.00000	0.00000	0.15116	-0.00530
-0.00357	2.88332	0.16496	-0.07602	0.00000	0.00000	0.15679	0.00260
-0.00291	3.05674	0.15806	-0.07372	0.00000	0.00000	0.16233	-0.00408
-0.00255	3.22079	0.15799	-0.07855	0.00000	0.00000	0.16791	-0.00398
-0.00247	3.40661	0.17141	-0.08982	0.00000	0.00000	0.17318	-0.00914
-0.00292	3.59581	0.14659	-0.11889	0.00000	0.00000	0.17877	-0.00772
-0.00193	3.72789	0.14809	-0.14995	0.00000	0.00000	0.18423	-0.00131
-0.00171	3.84374	0.14563	-0.15237	0.00000	0.00000	0.18879	-0.00687

-0.00150	3.94420	0.13703	-0.23448	0.00000	0.00000	0.19251	-0.00038
-0.00148	3.95694	0.15526	-0.17266	0.00000	0.00000	0.19297	0.00139
-0.00081	4.06774	0.14922	-0.26183	0.00000	0.00000	0.19655	0.01064
-0.00134	4.08102	0.15025	-0.25348	0.00000	0.00000	0.19696	-0.00638
-0.00121	4.16213	0.17048	-0.16346	0.00000	0.00000	0.20002	0.01480
-0.00090	4.17196	0.16179	-0.18979	0.00000	0.00000	0.20046	-0.00198
-0.00124	4.24521	0.19080	-0.13633	0.00000	0.00000	0.20317	-0.00010
-0.00102	4.25457	0.18929	-0.18171	0.00000	0.00000	0.20360	-0.00341
-0.00097	4.32415	0.16271	-0.12709	0.00000	0.00000	0.20628	0.01084
-0.00100	4.33323	0.16056	-0.12371	0.00000	0.00000	0.20662	-0.00267
-0.00089	4.38986	0.15325	-0.08980	0.00000	0.00000	0.20908	0.01464
-0.00090	4.39688	0.15287	-0.08908	0.00000	0.00000	0.20938	0.00676
-0.00083	4.44707	0.14471	-0.09572	0.00000	0.00000	0.21164	0.01120
-0.00095	4.45365	0.14195	-0.09047	0.00000	0.00000	0.21194	-0.00076
-0.00074	4.50660	0.12711	-0.04389	0.00000	0.00000	0.21407	-0.00066
-0.00073	4.51326	0.12623	-0.03921	0.00000	0.00000	0.21434	0.00652
-0.00075	4.55676	0.11310	-0.01835	0.00000	0.00000	0.21632	0.00495
-0.00074	4.56250	0.11054	-0.01662	0.00000	0.00000	0.21659	-0.00048
-0.00066	4.60417	0.09494	0.00386	0.00000	0.00000	0.21851	0.00929
-0.00067	4.60983	0.09322	0.00649	0.00000	0.00000	0.21876	-0.00287
-0.00065	4.65121	0.08008	0.02868	0.00000	0.00000	0.22060	0.00735
-0.00065	4.65628	0.07843	0.03138	0.00000	0.00000	0.22084	-0.02004
-0.00062	4.69469	0.06661	0.05168	0.00000	0.00000	0.22261	0.00497
-0.00062	4.69942	0.06539	0.05374	0.00000	0.00000	0.22282	-0.00892
-0.00060	4.73604	0.05625	0.07124	0.00000	0.00000	0.22446	0.00586
-0.00059	4.74092	0.05496	0.07359	0.00000	0.00000	0.22468	-0.00467
-0.00054	4.77471	0.04628	0.08961	0.00000	0.00000	0.22619	-0.00236
-0.00053	4.81074	0.03660	0.10936	0.00000	0.00000	0.22777	0.00159
-0.00052	4.84159	0.02825	0.12392	0.00000	0.00000	0.22916	0.00469
-0.00048	4.86837	0.02208	0.13740	0.00000	0.00000	0.23037	0.00399
-0.00049	4.87425	0.02072	0.14083	0.00000	0.00000	0.23062	0.01024
-0.00053	4.89387	0.01694	0.15010	0.00000	0.00000	0.23137	0.00157
-0.00052	4.89968	0.01578	0.15293	0.00000	0.00000	0.23158	-0.00380
-0.00044	4.91648	0.01293	0.16093	0.00000	0.00000	0.23219	0.00899
-0.00039	4.92086	0.01230	0.16307	0.00000	0.00000	0.23237	-0.00173

-0.00039	4.93281	0.01089	0.16954	0.00000	0.00000	0.23282	0.01643
-0.00044	4.94369	0.00951	0.17768	0.00000	0.00000	0.23320	0.00296
-0.00045	4.94553	0.00924	0.17942	0.00000	0.00000	0.23325	0.00823
-0.00043	4.95371	0.00967	0.18801	0.00000	0.00000	0.23332	0.00612
-0.00045	4.95455	0.01154	0.19058	0.00000	0.00000	0.23308	-0.00104
-0.00043	4.95186	0.01468	0.19056	0.00000	0.00000	0.23264	-0.00290
-0.00037	4.94437	0.01830	0.18998	0.00000	0.00000	0.23198	-0.00008
-0.00052	4.93154	0.02315	0.18779	0.00000	0.00000	0.23107	-0.00696
-0.00051	4.91372	0.02989	0.18311	0.00000	0.00000	0.23002	0.00199
-0.00050	4.89612	0.03774	0.17681	0.00000	0.00000	0.22877	-0.00175
-0.00054	4.87645	0.04688	0.16915	0.00000	0.00000	0.22734	0.00258
-0.00056	4.85354	0.05816	0.15979	0.00000	0.00000	0.22576	0.00309
-0.00058	4.82650	0.06945	0.14600	0.00000	0.00000	0.22403	-0.00100
-0.00061	4.79887	0.08156	0.13167	0.00000	0.00000	0.22216	0.00247
-0.00066	4.77042	0.09548	0.11663	0.00000	0.00000	0.22020	0.00305
-0.00068	4.74085	0.11152	0.09789	0.00000	0.00000	0.21814	0.00067
-0.00070	4.71013	0.12846	0.07831	0.00000	0.00000	0.21602	0.00111
-0.00074	4.67776	0.14719	0.05185	0.00000	0.00000	0.21368	-0.00569
-0.00079	4.64934	0.16072	-0.02071	0.00000	0.00000	0.21143	-0.00190
-0.00091	4.62272	0.17796	0.02899	0.00000	0.00000	0.20901	-0.00309
-0.00105	4.59707	0.18997	0.05567	0.00000	0.00000	0.20633	-0.00784
-0.00097	4.57466	0.17481	-0.01093	0.00000	0.00000	0.20341	-0.00112
-0.00138	4.54986	0.13072	0.00907	0.00000	0.00000	0.19994	-0.00827
-0.00160	4.52385	0.10303	-0.31008	0.00000	0.00000	0.19610	-0.01104
-0.00219	4.49722	0.17365	-0.09345	0.00000	0.00000	0.19103	-0.00971
-0.00200	4.47359	0.16592	-0.10997	0.00000	0.00000	0.18603	-0.01110
-0.00242	4.44996	0.17123	-0.07685	0.00000	0.00000	0.18056	-0.01179
-0.00292	4.42615	0.16156	-0.08348	0.00000	0.00000	0.17464	-0.00861
-0.00331	4.40610	0.16056	-0.08542	0.00000	0.00000	0.16844	-0.00949
-0.00380	4.38569	0.14946	-0.06993	0.00000	0.00000	0.16201	-0.00774
-0.00453	4.36779	0.14435	-0.06991	0.00000	0.00000	0.15540	-0.00904
-0.00500	4.35395	0.13494	-0.05291	0.00000	0.00000	0.14881	-0.01037
-0.00573	4.34139	0.12784	-0.04417	0.00000	0.00000	0.14242	-0.00411
-0.00617	4.33112	0.12058	-0.03102	0.00000	0.00000	0.13657	-0.00357
-0.00629	4.32448	0.11528	-0.01841	0.00000	0.00000	0.13164	-0.00194

-0.00562	4.31982	0.11091	0.00089	0.00000	0.00000	0.12812	-0.00519
-0.00256	4.31683	0.11111	0.02445	0.00000	0.00000	0.12674	0.00064
-0.00048	4.31512	0.11127	0.02421	0.00000	0.00000	0.12668	0.00139

WEIGHTED OBSERVATIONAL EQUATIONS

-0.00423	11.89339	0.23426	0.01454	0.22423	0.00000	0.00000	0.00943
-0.01028	11.74107	0.23049	-0.02572	0.22327	0.00000	0.00000	0.01367
-0.01202	11.43632	0.23183	-0.06388	0.22306	0.00000	0.00000	0.01459
-0.01174	11.10524	0.23861	-0.08972	0.22476	0.00000	0.00000	0.00708
-0.01076	10.68330	0.24174	-0.11379	0.22573	0.00000	0.00000	0.00278
-0.00927	10.16365	0.24400	-0.12723	0.22477	0.00000	0.00000	0.00704
-0.00796	9.80032	0.25593	-0.14950	0.22671	0.00000	0.00000	-0.00151
-0.00636	9.44724	0.25327	-0.16488	0.22805	0.00000	0.00000	-0.00743
-0.00531	8.98494	0.25140	-0.20135	0.22635	0.00000	0.00000	0.00006
-0.00461	8.72629	0.25607	-0.16404	0.22763	0.00000	0.00000	-0.00558
-0.00377	8.53362	0.26169	-0.16229	0.22955	0.00000	0.00000	-0.01407
-0.00315	8.18674	0.24764	-0.15697	0.22625	0.00000	0.00000	0.00050
-0.00291	8.02227	0.25972	-0.17731	0.22685	0.00000	0.00000	-0.00214
-0.00198	7.85022	0.15197	-0.32440	0.22685	0.00000	0.00000	-0.00214
-0.00170	7.69930	0.19094	-0.03981	0.22575	0.00000	0.00000	0.00272
-0.00148	7.69864	0.24554	-0.00557	0.22850	0.00000	0.00000	-0.00942
-0.00157	7.63094	0.24941	-0.00696	0.22875	0.00000	0.00000	-0.01053
-0.00122	7.67939	0.22871	-0.01248	0.23202	0.00000	0.00000	-0.02501
-0.00110	7.62956	0.20593	-0.03480	0.23199	0.00000	0.00000	-0.02486
-0.00103	7.54158	0.18361	0.02581	0.23051	0.00000	0.00000	-0.01832
-0.00095	7.40788	0.15768	0.05243	0.22742	0.00000	0.00000	-0.00467
-0.00090	7.35375	0.13454	0.07873	0.22663	0.00000	0.00000	-0.00118
-0.00069	7.26686	0.05130	0.16810	0.22688	0.00000	0.00000	-0.00227
-0.00065	7.24593	0.03909	0.17883	0.22662	0.00000	0.00000	-0.00114
-0.00063	7.24041	0.02875	0.18772	0.22676	0.00000	0.00000	-0.00174
-0.00063	7.37721	0.01979	0.19836	0.23119	0.00000	0.00000	-0.02132
-0.00053	7.20997	0.01263	0.19794	0.22608	0.00000	0.00000	0.00124
-0.00055	7.20906	0.00751	0.19987	0.22617	0.00000	0.00000	0.00086
-0.00057	7.35651	0.00362	0.20447	0.23088	0.00000	0.00000	-0.01996

-0.00055	7.31001	0.00115	0.20113	0.22947	0.00000	0.00000	-0.01372
-0.00056	7.28499	0.00023	0.19628	0.22866	0.00000	0.00000	-0.01014
-0.00056	7.25450	0.00088	0.18921	0.22763	0.00000	0.00000	-0.00559
-0.00054	7.31700	0.00291	0.18228	0.22950	0.00000	0.00000	-0.01385
-0.00056	7.24530	0.00607	0.17069	0.22715	0.00000	0.00000	-0.00348
-0.00064	7.33812	0.01136	0.16066	0.23001	0.00000	0.00000	-0.01610
-0.00061	7.15843	0.01766	0.14261	0.22431	0.00000	0.00000	0.00907
-0.00064	7.04159	0.02520	0.12483	0.22051	0.00000	0.00000	0.02584
-0.00067	7.12179	0.03547	0.10908	0.22289	0.00000	0.00000	0.01534
-0.00070	7.15471	0.04750	0.08836	0.22383	0.00000	0.00000	0.01120
-0.00075	7.07655	0.05973	0.06558	0.22128	0.00000	0.00000	0.02244
-0.00081	7.21500	0.07529	0.04256	0.22555	0.00000	0.00000	0.00360
-0.00085	7.13739	0.09129	0.01517	0.22305	0.00000	0.00000	0.01463
-0.00087	7.04815	0.10870	-0.01374	0.22026	0.00000	0.00000	0.02697
-0.00096	7.09265	0.13089	-0.04422	0.22162	0.00000	0.00000	0.02095
-0.00099	7.09225	0.15183	-0.07322	0.22164	0.00000	0.00000	0.02088
-0.00114	7.07328	0.17407	-0.12700	0.22127	0.00000	0.00000	0.02251
-0.00118	7.05534	0.19085	-0.13646	0.22095	0.00000	0.00000	0.02392
-0.00130	7.00077	0.20624	-0.17556	0.21957	0.00000	0.00000	0.02999
-0.00162	6.97747	0.23719	-0.19761	0.21947	0.00000	0.00000	0.03043
-0.00159	6.99890	0.22782	-0.23184	0.22107	0.00000	0.00000	0.02337
-0.00132	7.07983	0.21910	-0.34541	0.22476	0.00000	0.00000	0.00710
-0.00198	6.93265	0.20886	-0.32542	0.22219	0.00000	0.00000	0.01844
-0.00201	6.84596	0.22147	-0.23696	0.22115	0.00000	0.00000	0.02302
-0.00273	6.84996	0.22254	-0.24018	0.22262	0.00000	0.00000	0.01653
-0.00378	6.80683	0.23481	-0.21175	0.22268	0.00000	0.00000	0.01629
-0.00367	6.69576	0.27529	-0.18154	0.22416	0.00000	0.00000	0.00973
-0.00392	6.41174	0.26150	-0.16906	0.22027	0.00000	0.00000	0.02693
-0.00434	6.30821	0.26173	-0.16692	0.22114	0.00000	0.00000	0.02307
-0.00588	6.24824	0.29496	-0.17809	0.22479	0.00000	0.00000	0.00694
-0.00830	6.12170	0.30971	-0.16458	0.22609	0.00000	0.00000	0.00122
-0.00899	5.80529	0.28598	-0.14933	0.22133	0.00000	0.00000	0.02223
-0.01188	5.84505	0.29246	-0.14075	0.22834	0.00000	0.00000	-0.00872
-0.01211	5.51647	0.30943	-0.11289	0.21914	0.00000	0.00000	0.03189
-0.00760	5.65433	0.27573	-0.09306	0.22759	0.00000	0.00000	-0.00540

-0.00654	5.41695	0.29825	-0.08366	0.21864	0.00000	0.00000	0.03414
-0.00908	5.47049	0.26900	-0.09158	0.21958	0.00000	0.00000	0.02998
-0.01153	5.98260	0.31463	-0.14803	0.23113	0.00000	0.00000	-0.02104
-0.00857	6.12203	0.32510	-0.15882	0.23072	0.00000	0.00000	-0.01924
-0.00790	6.21277	0.32588	-0.16933	0.22705	0.00000	0.00000	-0.00305
-0.00510	6.44655	0.27073	-0.17096	0.22920	0.00000	0.00000	-0.01252
-0.00496	6.67183	0.28479	-0.17923	0.23160	0.00000	0.00000	-0.02313
-0.00387	6.86970	0.27726	-0.18059	0.23411	0.00000	0.00000	-0.03420
-0.00523	6.89232	0.27188	-0.19592	0.22841	0.00000	0.00000	-0.00905
-0.00335	6.95037	0.26152	-0.23904	0.22533	0.00000	0.00000	0.00456
-0.00316	6.93056	0.22573	-0.24038	0.22330	0.00000	0.00000	0.01355
-0.00329	7.23404	0.24526	-0.25271	0.23235	0.00000	0.00000	-0.02644
-0.00219	7.32290	0.25508	-0.27098	0.23437	0.00000	0.00000	-0.03538
-0.00184	7.10409	0.25599	-0.27142	0.22671	0.00000	0.00000	-0.00153
-0.00206	7.13934	0.22387	-0.24211	0.22601	0.00000	0.00000	0.00157
-0.00154	7.25219	0.23616	-0.22170	0.22851	0.00000	0.00000	-0.00949
-0.00155	7.26171	0.23466	-0.21875	0.22874	0.00000	0.00000	-0.01050
-0.00174	7.07610	0.23807	-0.18633	0.22245	0.00000	0.00000	0.01730
-0.00173	7.25684	0.24116	-0.18797	0.22805	0.00000	0.00000	-0.00744
-0.00131	7.10479	0.20142	-0.17126	0.22264	0.00000	0.00000	0.01643
-0.00120	7.32576	0.19317	-0.13728	0.22935	0.00000	0.00000	-0.01320
-0.00109	7.14295	0.16632	-0.10719	0.22340	0.00000	0.00000	0.01308
-0.00106	7.30096	0.16609	-0.10261	0.22832	0.00000	0.00000	-0.00863
-0.00098	7.16473	0.14900	-0.06444	0.22389	0.00000	0.00000	0.01092
-0.00096	7.32386	0.12795	-0.03498	0.22885	0.00000	0.00000	-0.01100
-0.00089	7.14417	0.10442	-0.00490	0.22326	0.00000	0.00000	0.01373
-0.00083	7.12711	0.08583	0.02356	0.22275	0.00000	0.00000	0.01596
-0.00081	7.34420	0.07193	0.05086	0.22960	0.00000	0.00000	-0.01430
-0.00074	7.19995	0.05659	0.07381	0.22518	0.00000	0.00000	0.00524
-0.00072	7.31785	0.04500	0.09794	0.22895	0.00000	0.00000	-0.01145
-0.00068	7.28853	0.03285	0.11708	0.22815	0.00000	0.00000	-0.00790
-0.00063	7.22484	0.02322	0.13313	0.22630	0.00000	0.00000	0.00029
-0.00061	7.17572	0.01546	0.14770	0.22488	0.00000	0.00000	0.00654
-0.00061	7.16711	0.00929	0.16084	0.22466	0.00000	0.00000	0.00754
-0.00052	7.16538	0.00489	0.17191	0.22467	0.00000	0.00000	0.00746

-0.00053	7.18132	0.00214	0.18153	0.22527	0.00000	0.00000	0.00483
-0.00055	7.11693	0.00051	0.18774	0.22334	0.00000	0.00000	0.01336
-0.00055	7.30512	0.00034	0.19831	0.22931	0.00000	0.00000	-0.01301
-0.00055	7.22761	0.00168	0.19967	0.22687	0.00000	0.00000	-0.00225
-0.00056	7.20568	0.00456	0.20052	0.22613	0.00000	0.00000	0.00105
-0.00055	7.29736	0.00899	0.20194	0.22891	0.00000	0.00000	-0.01125
-0.00056	7.34342	0.01468	0.20065	0.23022	0.00000	0.00000	-0.01705
-0.00064	7.30045	0.02202	0.19467	0.22875	0.00000	0.00000	-0.01056
-0.00063	7.29276	0.03122	0.18717	0.22834	0.00000	0.00000	-0.00875
-0.00067	7.32421	0.04214	0.17856	0.22898	0.00000	0.00000	-0.01157
-0.00069	7.32518	0.05473	0.16684	0.22860	0.00000	0.00000	-0.00987
-0.00072	7.24005	0.06823	0.14983	0.22550	0.00000	0.00000	0.00383
-0.00078	7.38025	0.08518	0.13631	0.22935	0.00000	0.00000	-0.01321
-0.00081	7.28901	0.10082	0.11576	0.22590	0.00000	0.00000	0.00204
-0.00088	7.42180	0.12204	0.09571	0.22925	0.00000	0.00000	-0.01277
-0.00091	7.39585	0.14259	0.06943	0.22764	0.00000	0.00000	-0.00564
-0.00100	7.53712	0.17045	0.04044	0.23097	0.00000	0.00000	-0.02036
-0.00106	7.54697	0.19304	0.01043	0.23021	0.00000	0.00000	-0.01698
-0.00113	7.56016	0.22307	-0.01007	0.22927	0.00000	0.00000	-0.01284
-0.00122	7.63759	0.22214	-0.04513	0.23011	0.00000	0.00000	-0.01656
-0.00116	7.62609	0.24273	-0.02428	0.22778	0.00000	0.00000	-0.00624
-0.00154	7.76499	0.22401	-0.01937	0.22937	0.00000	0.00000	-0.01328
-0.00204	7.80712	0.18892	-0.00891	0.22760	0.00000	0.00000	-0.00546
-0.00222	7.97783	0.21609	-0.19803	0.22854	0.00000	0.00000	-0.00961
-0.00273	8.17977	0.25534	-0.16428	0.22924	0.00000	0.00000	-0.01269
-0.00334	8.40969	0.26155	-0.15972	0.22995	0.00000	0.00000	-0.01584
-0.00418	8.65397	0.25760	-0.16490	0.23001	0.00000	0.00000	-0.01611
-0.00468	8.89993	0.25320	-0.21951	0.22906	0.00000	0.00000	-0.01191
-0.00587	9.20752	0.25601	-0.15940	0.22838	0.00000	0.00000	-0.00890
-0.00709	9.52812	0.25251	-0.15297	0.22703	0.00000	0.00000	-0.00296
-0.00809	9.84930	0.24759	-0.14061	0.22473	0.00000	0.00000	0.00720
-0.00949	10.30231	0.24711	-0.12936	0.22466	0.00000	0.00000	0.00754
-0.01087	10.77189	0.23899	-0.10875	0.22455	0.00000	0.00000	0.00802
-0.01208	11.23184	0.23524	-0.08181	0.22453	0.00000	0.00000	0.00811
-0.01199	11.69668	0.23399	-0.05279	0.22601	0.00000	0.00000	0.00158

-0.00899	11.70567	0.22900	-0.01414	0.22156	0.00000	0.00000	0.02123
-0.00220	11.79336	0.23245	0.01424	0.22234	0.00000	0.00000	0.01778
-0.00114	11.81206	0.23318	0.01385	0.22269	0.00000	0.00000	0.01624
-0.00099	9.79729	0.21752	0.03075	0.00000	0.22610	0.00000	0.01758
-0.00696	9.85669	0.21694	0.01705	0.00000	0.22763	0.00000	0.01094
-0.01116	9.69487	0.21553	-0.02144	0.00000	0.22722	0.00000	0.01270
-0.01159	9.44314	0.21867	-0.06534	0.00000	0.22794	0.00000	0.00961
-0.01081	9.14405	0.22261	-0.07685	0.00000	0.22930	0.00000	0.00368
-0.00955	8.89482	0.23032	-0.09938	0.00000	0.23265	0.00000	-0.01088
-0.00823	8.49077	0.23523	-0.11744	0.00000	0.23184	0.00000	-0.00735
-0.00679	8.07364	0.23302	-0.12167	0.00000	0.22987	0.00000	0.00120
-0.00455	7.41808	0.23414	-0.13303	0.00000	0.22830	0.00000	0.00800
-0.00386	7.26648	0.24278	-0.13018	0.00000	0.23089	0.00000	-0.00325
-0.00334	7.08439	0.23274	-0.13418	0.00000	0.23145	0.00000	-0.00567
-0.00271	6.88014	0.23481	-0.19601	0.00000	0.23036	0.00000	-0.00093
-0.00230	6.68812	0.20967	-0.16336	0.00000	0.22879	0.00000	0.00589
-0.00182	6.62730	0.14887	-0.11753	0.00000	0.23100	0.00000	-0.00370
-0.00181	6.48515	0.18957	0.00299	0.00000	0.22907	0.00000	0.00469
-0.00129	6.44477	0.22060	-0.00275	0.00000	0.23025	0.00000	-0.00043
-0.00113	6.43274	0.21138	-0.04719	0.00000	0.23193	0.00000	-0.00774
-0.00101	6.44772	0.21239	0.00297	0.00000	0.23400	0.00000	-0.01676
-0.00095	6.37491	0.18579	0.02225	0.00000	0.23268	0.00000	-0.01101
-0.00090	6.29985	0.16568	0.05534	0.00000	0.23096	0.00000	-0.00355
-0.00082	6.27924	0.14159	0.07807	0.00000	0.23113	0.00000	-0.00429
-0.00078	6.12168	0.11859	0.09979	0.00000	0.22609	0.00000	0.01761
-0.00063	6.16180	0.05932	0.16533	0.00000	0.22996	0.00000	0.00080
-0.00063	6.16494	0.04700	0.17523	0.00000	0.23057	0.00000	-0.00185
-0.00057	6.15790	0.03679	0.18369	0.00000	0.23076	0.00000	-0.00269
-0.00058	6.07071	0.02746	0.18764	0.00000	0.22782	0.00000	0.01010
-0.00054	6.17509	0.02004	0.19597	0.00000	0.23193	0.00000	-0.00773
-0.00046	6.13480	0.01470	0.19674	0.00000	0.23065	0.00000	-0.00221
-0.00050	6.07832	0.01058	0.19584	0.00000	0.22874	0.00000	0.00609
-0.00050	6.14508	0.00754	0.19705	0.00000	0.23146	0.00000	-0.00570
-0.00049	6.16267	0.00591	0.19462	0.00000	0.23228	0.00000	-0.00926
-0.00050	6.14835	0.00556	0.18930	0.00000	0.23181	0.00000	-0.00724

-0.00049	6.14641	0.00674	0.18245	0.00000	0.23178	0.00000	-0.00709
-0.00044	6.11038	0.00866	0.17282	0.00000	0.23045	0.00000	-0.00134
-0.00054	6.07888	0.01174	0.16240	0.00000	0.22930	0.00000	0.00367
-0.00058	6.11863	0.01698	0.15144	0.00000	0.23093	0.00000	-0.00340
-0.00055	6.02057	0.02319	0.13567	0.00000	0.22726	0.00000	0.01253
-0.00060	6.01339	0.03077	0.12045	0.00000	0.22696	0.00000	0.01386
-0.00062	6.00163	0.04071	0.10458	0.00000	0.22649	0.00000	0.01588
-0.00063	6.02114	0.05190	0.08401	0.00000	0.22727	0.00000	0.01250
-0.00069	6.02081	0.06407	0.06192	0.00000	0.22725	0.00000	0.01258
-0.00074	6.01016	0.07762	0.04033	0.00000	0.22688	0.00000	0.01420
-0.00078	5.97937	0.09364	0.01490	0.00000	0.22572	0.00000	0.01923
-0.00081	6.00444	0.11206	-0.01279	0.00000	0.22674	0.00000	0.01481
-0.00088	5.99471	0.13407	-0.04060	0.00000	0.22639	0.00000	0.01634
-0.00091	6.02828	0.14982	-0.07068	0.00000	0.22781	0.00000	0.01016
-0.00107	5.99080	0.17201	-0.10109	0.00000	0.22669	0.00000	0.01500
-0.00123	5.96225	0.18681	-0.13529	0.00000	0.22583	0.00000	0.01874
-0.00108	5.96995	0.20318	-0.24666	0.00000	0.22681	0.00000	0.01451
-0.00141	5.95765	0.23383	-0.18611	0.00000	0.22674	0.00000	0.01482
-0.00189	5.92942	0.21835	-0.19263	0.00000	0.22674	0.00000	0.01482
-0.00251	5.89886	0.24450	-0.19742	0.00000	0.22682	0.00000	0.01446
-0.00228	5.80700	0.19468	-0.23185	0.00000	0.22536	0.00000	0.02080
-0.00190	5.76206	0.21101	-0.28843	0.00000	0.22579	0.00000	0.01891
-0.00319	5.79603	0.26445	-0.20234	0.00000	0.22767	0.00000	0.01077
-0.00498	5.74319	0.27767	-0.22929	0.00000	0.22734	0.00000	0.01221
-0.00386	5.62046	0.25006	-0.14452	0.00000	0.23001	0.00000	0.00058
-0.00503	5.50825	0.26056	-0.13700	0.00000	0.22936	0.00000	0.00340
-0.00405	5.36383	0.23837	-0.13329	0.00000	0.22826	0.00000	0.00819
-0.00679	5.24043	0.26354	-0.13594	0.00000	0.22837	0.00000	0.00774
-0.00835	5.08949	0.28263	-0.12429	0.00000	0.22895	0.00000	0.00518
-0.00974	4.97183	0.26191	-0.11179	0.00000	0.22915	0.00000	0.00431
-0.01093	4.87614	0.25912	-0.09498	0.00000	0.22972	0.00000	0.00187
-0.01012	4.80739	0.27787	-0.06976	0.00000	0.22990	0.00000	0.00109
-0.00478	4.82812	0.25073	-0.04854	0.00000	0.23198	0.00000	-0.00796
-0.00465	4.77605	0.25943	-0.03638	0.00000	0.22935	0.00000	0.00346
-0.00503	4.76019	0.24450	-0.04348	0.00000	0.22874	0.00000	0.00611

-0.01000	4.86653	0.27801	-0.06990	0.00000	0.23159	0.00000	-0.00628
-0.01087	4.88719	0.25932	-0.08910	0.00000	0.23014	0.00000	0.00003
-0.00994	5.05506	0.28571	-0.06146	0.00000	0.23272	0.00000	-0.01116
-0.00839	5.08742	0.28100	-0.12371	0.00000	0.22893	0.00000	0.00526
-0.00732	5.43771	0.28019	-0.14708	0.00000	0.23705	0.00000	-0.03002
-0.00398	5.35642	0.23759	-0.13275	0.00000	0.22786	0.00000	0.00995
-0.00498	5.37403	0.27415	-0.13276	0.00000	0.22377	0.00000	0.02771
-0.00383	5.58583	0.24803	-0.14215	0.00000	0.22811	0.00000	0.00886
-0.00493	5.68637	0.27443	-0.22605	0.00000	0.22544	0.00000	0.02046
-0.00306	5.78589	0.23260	-0.38121	0.00000	0.22747	0.00000	0.01163
-0.00198	5.98038	0.21995	-0.30500	0.00000	0.23426	0.00000	-0.01786
-0.00245	5.99881	0.18782	-0.42195	0.00000	0.23298	0.00000	-0.01229
-0.00231	6.01325	0.20254	-0.24076	0.00000	0.23337	0.00000	-0.01400
-0.00254	5.96319	0.24719	-0.22355	0.00000	0.22940	0.00000	0.00323
-0.00253	5.95459	0.24623	-0.19763	0.00000	0.22888	0.00000	0.00552
-0.00201	5.98072	0.20742	-0.20797	0.00000	0.22871	0.00000	0.00623
-0.00192	6.00128	0.22202	-0.19423	0.00000	0.22939	0.00000	0.00328
-0.00138	5.92616	0.22005	-0.18664	0.00000	0.22562	0.00000	0.01968
-0.00141	6.06041	0.23709	-0.18888	0.00000	0.23068	0.00000	-0.00230
-0.00132	6.12866	0.21618	-0.20971	0.00000	0.23284	0.00000	-0.01172
-0.00109	6.14132	0.20742	-0.20832	0.00000	0.23308	0.00000	-0.01275
-0.00131	6.05929	0.19416	-0.13828	0.00000	0.22952	0.00000	0.00271
-0.00106	6.02779	0.17417	-0.10479	0.00000	0.22811	0.00000	0.00884
-0.00107	5.98204	0.17132	-0.09971	0.00000	0.22636	0.00000	0.01645
-0.00089	5.96101	0.14923	-0.07274	0.00000	0.22529	0.00000	0.02110
-0.00092	6.13178	0.15146	-0.07073	0.00000	0.23171	0.00000	-0.00681
-0.00088	6.01702	0.13616	-0.04197	0.00000	0.22723	0.00000	0.01267
-0.00091	6.21577	0.13808	-0.04056	0.00000	0.23473	0.00000	-0.01992
-0.00082	6.04867	0.11468	-0.01518	0.00000	0.22841	0.00000	0.00754
-0.00082	6.14628	0.11402	-0.01232	0.00000	0.23209	0.00000	-0.00846
-0.00080	6.08480	0.09683	0.01285	0.00000	0.22971	0.00000	0.00190
-0.00081	6.20594	0.09654	0.01630	0.00000	0.23427	0.00000	-0.01793
-0.00075	6.05537	0.07964	0.03818	0.00000	0.22858	0.00000	0.00679
-0.00077	6.27797	0.08060	0.04287	0.00000	0.23699	0.00000	-0.02973
-0.00070	6.13415	0.06637	0.06118	0.00000	0.23153	0.00000	-0.00601

-0.00072	6.35871	0.06734	0.06614	0.00000	0.24000	0.00000	-0.04283
-0.00065	6.10611	0.05373	0.08330	0.00000	0.23048	0.00000	-0.00143
-0.00062	5.96226	0.05109	0.08370	0.00000	0.22505	0.00000	0.02216
-0.00063	6.09210	0.04240	0.10450	0.00000	0.22991	0.00000	0.00105
-0.00062	6.15046	0.03230	0.12182	0.00000	0.23213	0.00000	-0.00861
-0.00056	6.11827	0.02422	0.13644	0.00000	0.23095	0.00000	-0.00348
-0.00057	6.25094	0.02305	0.14303	0.00000	0.23597	0.00000	-0.02528
-0.00057	6.14386	0.01760	0.15079	0.00000	0.23189	0.00000	-0.00758
-0.00059	6.17310	0.01637	0.15440	0.00000	0.23297	0.00000	-0.01226
-0.00054	6.01504	0.01202	0.15963	0.00000	0.22690	0.00000	0.01409
-0.00053	6.22928	0.01143	0.16786	0.00000	0.23497	0.00000	-0.02095
-0.00044	6.10313	0.00892	0.17173	0.00000	0.23018	0.00000	-0.00016
-0.00048	6.10633	0.00683	0.18038	0.00000	0.23027	0.00000	-0.00053
-0.00050	6.08609	0.00556	0.18687	0.00000	0.22947	0.00000	0.00293
-0.00049	6.13445	0.00579	0.19336	0.00000	0.23123	0.00000	-0.00469
-0.00050	6.12856	0.00732	0.19630	0.00000	0.23085	0.00000	-0.00307
-0.00050	6.12389	0.01029	0.19729	0.00000	0.23048	0.00000	-0.00145
-0.00046	6.20477	0.01440	0.19910	0.00000	0.23331	0.00000	-0.01374
-0.00053	6.21656	0.01953	0.19754	0.00000	0.23351	0.00000	-0.01460
-0.00059	6.17680	0.02659	0.19178	0.00000	0.23183	0.00000	-0.00734
-0.00057	6.24257	0.03561	0.18765	0.00000	0.23401	0.00000	-0.01680
-0.00063	6.20976	0.04534	0.17822	0.00000	0.23233	0.00000	-0.00949
-0.00063	6.20771	0.05742	0.16836	0.00000	0.23176	0.00000	-0.00702
-0.00065	6.21147	0.07090	0.15399	0.00000	0.23143	0.00000	-0.00556
-0.00071	6.24258	0.08595	0.14005	0.00000	0.23202	0.00000	-0.00814
-0.00075	6.20784	0.10097	0.12253	0.00000	0.23008	0.00000	0.00028
-0.00080	6.26599	0.12058	0.10308	0.00000	0.23146	0.00000	-0.00569
-0.00082	6.28648	0.14086	0.07911	0.00000	0.23143	0.00000	-0.00560
-0.00088	6.35145	0.16662	0.04940	0.00000	0.23284	0.00000	-0.01170
-0.00095	6.35057	0.18569	0.02230	0.00000	0.23177	0.00000	-0.00706
-0.00101	6.39381	0.21060	0.00247	0.00000	0.23204	0.00000	-0.00821
-0.00136	6.42605	0.21882	-0.00664	0.00000	0.23159	0.00000	-0.00628
-0.00128	6.57654	0.22719	0.00567	0.00000	0.23490	0.00000	-0.02065
-0.00170	6.52679	0.18935	0.00377	0.00000	0.23051	0.00000	-0.00157
-0.00186	6.68840	0.14821	-0.12072	0.00000	0.23309	0.00000	-0.01279

-0.00230	6.80549	0.21498	-0.15978	0.00000	0.23273	0.00000	-0.01124
-0.00274	6.94965	0.23981	-0.17236	0.00000	0.23263	0.00000	-0.01080
-0.00339	7.13663	0.23547	-0.13586	0.00000	0.23307	0.00000	-0.01272
-0.00390	7.33368	0.24214	-0.14483	0.00000	0.23295	0.00000	-0.01218
-0.00479	7.50609	0.23710	-0.13481	0.00000	0.23091	0.00000	-0.00331
-0.00576	7.78406	0.23539	-0.12751	0.00000	0.23114	0.00000	-0.00433
-0.00673	8.06926	0.24047	-0.12236	0.00000	0.23051	0.00000	-0.00158
-0.00801	8.43073	0.23748	-0.11333	0.00000	0.23110	0.00000	-0.00413
-0.00953	8.79135	0.22874	-0.09972	0.00000	0.23073	0.00000	-0.00252
-0.01073	9.09516	0.22277	-0.07672	0.00000	0.22884	0.00000	0.00567
-0.01141	9.40020	0.21806	-0.05307	0.00000	0.22758	0.00000	0.01116
-0.01106	9.69578	0.21621	-0.02582	0.00000	0.22774	0.00000	0.01044
-0.00777	9.88533	0.21773	0.01374	0.00000	0.22839	0.00000	0.00762
-0.00118	9.92476	0.22023	0.03131	0.00000	0.22904	0.00000	0.00479
-0.00099	9.80514	0.21778	0.03071	0.00000	0.22628	0.00000	0.01678
-0.00089	8.04248	0.20746	0.04504	0.00000	0.00000	0.23611	0.00264
-0.00179	8.02944	0.20691	0.04523	0.00000	0.00000	0.23573	0.00424
-0.01141	7.88821	0.20663	-0.02383	0.00000	0.00000	0.23767	-0.00394
-0.01096	7.69109	0.21069	-0.04712	0.00000	0.00000	0.23950	-0.01166
-0.00977	7.40084	0.21352	-0.08876	0.00000	0.00000	0.23954	-0.01184
-0.00853	7.11985	0.21857	-0.11231	0.00000	0.00000	0.24002	-0.01386
-0.00726	6.81385	0.21905	-0.09556	0.00000	0.00000	0.23915	-0.01017
-0.00617	6.56161	0.22024	-0.11038	0.00000	0.00000	0.23942	-0.01132
-0.00500	6.30050	0.22158	-0.14108	0.00000	0.00000	0.23818	-0.00610
-0.00409	6.08698	0.22434	-0.10443	0.00000	0.00000	0.23841	-0.00707
-0.00359	5.93499	0.21758	-0.10869	0.00000	0.00000	0.23929	-0.01078
-0.00279	5.76158	0.22205	-0.11077	0.00000	0.00000	0.23822	-0.00627
-0.00236	5.62953	0.21228	-0.12462	0.00000	0.00000	0.23794	-0.00509
-0.00207	5.55172	0.17493	-0.13767	0.00000	0.00000	0.23940	-0.01123
-0.00186	5.49321	0.15586	0.05126	0.00000	0.00000	0.24065	-0.01653
-0.00150	5.39391	0.19507	0.10731	0.00000	0.00000	0.23913	-0.01009
-0.00111	5.36552	0.21628	0.07266	0.00000	0.00000	0.24036	-0.01532
-0.00103	5.30079	0.19846	0.03514	0.00000	0.00000	0.23934	-0.01099
-0.00106	5.26797	0.20045	0.03859	0.00000	0.00000	0.23919	-0.01036
-0.00088	5.26976	0.16995	0.05309	0.00000	0.00000	0.24050	-0.01590

-0.00080	5.17365	0.14781	0.07806	0.00000	0.00000	0.23700	-0.00112
-0.00074	5.18382	0.12723	0.10012	0.00000	0.00000	0.23831	-0.00662
-0.00056	5.06429	0.05360	0.17247	0.00000	0.00000	0.23587	0.00368
-0.00055	5.05353	0.04275	0.17974	0.00000	0.00000	0.23590	0.00352
-0.00050	5.06742	0.03413	0.18629	0.00000	0.00000	0.23706	-0.00136
-0.00055	5.04418	0.02659	0.19050	0.00000	0.00000	0.23626	0.00201
-0.00043	5.11711	0.02047	0.19631	0.00000	0.00000	0.23996	-0.01359
-0.00042	5.06577	0.01624	0.19498	0.00000	0.00000	0.23788	-0.00483
-0.00046	5.04642	0.01274	0.19472	0.00000	0.00000	0.23729	-0.00233
-0.00044	5.04213	0.01034	0.19246	0.00000	0.00000	0.23739	-0.00276
-0.00044	5.01646	0.00919	0.18787	0.00000	0.00000	0.23642	0.00134
-0.00046	5.02015	0.00928	0.18283	0.00000	0.00000	0.23676	-0.00008
-0.00042	5.00628	0.01053	0.17466	0.00000	0.00000	0.23624	0.00211
-0.00038	5.01918	0.01233	0.16723	0.00000	0.00000	0.23699	-0.00108
-0.00053	4.98918	0.01551	0.15695	0.00000	0.00000	0.23577	0.00407
-0.00050	4.97276	0.02046	0.14508	0.00000	0.00000	0.23526	0.00625
-0.00050	4.95571	0.02655	0.13138	0.00000	0.00000	0.23455	0.00925
-0.00054	4.93010	0.03409	0.11678	0.00000	0.00000	0.23340	0.01411
-0.00057	4.94954	0.04469	0.10135	0.00000	0.00000	0.23441	0.00981
-0.00061	4.93720	0.05468	0.08096	0.00000	0.00000	0.23397	0.01170
-0.00065	4.91817	0.06577	0.06040	0.00000	0.00000	0.23316	0.01511
-0.00068	4.94967	0.08008	0.03860	0.00000	0.00000	0.23474	0.00843
-0.00073	4.91932	0.09607	0.01290	0.00000	0.00000	0.23341	0.01405
-0.00077	4.91859	0.11452	-0.01226	0.00000	0.00000	0.23348	0.01375
-0.00077	4.88419	0.13568	-0.03895	0.00000	0.00000	0.23194	0.02027
-0.00085	4.91032	0.14762	-0.08303	0.00000	0.00000	0.23348	0.01377
-0.00098	4.87566	0.16740	-0.10098	0.00000	0.00000	0.23214	0.01943
-0.00114	4.81684	0.17393	-0.13141	0.00000	0.00000	0.22957	0.03027
-0.00161	4.86452	0.21738	-0.14589	0.00000	0.00000	0.23259	0.01751
-0.00129	4.82756	0.19930	-0.16751	0.00000	0.00000	0.23136	0.02272
-0.00138	4.79431	0.18344	-0.25940	0.00000	0.00000	0.23108	0.02391
-0.00184	4.78246	0.20530	-0.21211	0.00000	0.00000	0.23300	0.01578
-0.00309	4.75276	0.18245	-0.19124	0.00000	0.00000	0.23310	0.01536
-0.00327	4.73514	0.19435	-0.21443	0.00000	0.00000	0.23381	0.01239
-0.00386	4.69454	0.22439	-0.16309	0.00000	0.00000	0.23296	0.01596

-0.00395	4.64788	0.22397	-0.13486	0.00000	0.00000	0.23546	0.00539
-0.00304	4.49002	0.21860	-0.11064	0.00000	0.00000	0.23267	0.01720
-0.00442	4.43434	0.21874	-0.10534	0.00000	0.00000	0.23384	0.01222
-0.00453	4.33912	0.22635	-0.10235	0.00000	0.00000	0.23413	0.01103
-0.00734	4.24678	0.25359	-0.09319	0.00000	0.00000	0.23493	0.00764
-0.00800	4.17047	0.24961	-0.08427	0.00000	0.00000	0.23723	-0.00207
-0.01038	4.01821	0.24970	-0.07064	0.00000	0.00000	0.23388	0.01207
-0.01036	4.00409	0.24443	-0.01297	0.00000	0.00000	0.23719	-0.00191
-0.00663	3.95259	0.23239	0.02237	0.00000	0.00000	0.23629	0.00191
-0.00388	3.94241	0.25530	-0.01944	0.00000	0.00000	0.23638	0.00153
-0.00402	3.93584	0.23578	-0.00773	0.00000	0.00000	0.23610	0.00270
-0.00557	3.97678	0.23124	-0.01656	0.00000	0.00000	0.23815	-0.00596
-0.01041	4.02000	0.24731	-0.04483	0.00000	0.00000	0.23864	-0.00805
-0.01081	4.06578	0.24445	-0.06679	0.00000	0.00000	0.23806	-0.00559
-0.00817	4.17258	0.24798	-0.08271	0.00000	0.00000	0.23923	-0.01051
-0.00805	4.28670	0.26439	-0.09797	0.00000	0.00000	0.23872	-0.00837
-0.00537	4.33646	0.24810	-0.11434	0.00000	0.00000	0.23581	0.00391
-0.00427	4.48465	0.23190	-0.10816	0.00000	0.00000	0.23816	-0.00599
-0.00362	4.56655	0.22400	-0.11137	0.00000	0.00000	0.23807	-0.00565
-0.00342	4.71569	0.23728	-0.12433	0.00000	0.00000	0.23973	-0.01266
-0.00391	4.81109	0.19614	-0.15907	0.00000	0.00000	0.23918	-0.01033
-0.00248	4.79842	0.19062	-0.19301	0.00000	0.00000	0.23714	-0.00169
-0.00216	4.86181	0.18420	-0.19273	0.00000	0.00000	0.23879	-0.00869
-0.00184	4.85260	0.16859	-0.28849	0.00000	0.00000	0.23685	-0.00047
-0.00181	4.84622	0.19015	-0.21146	0.00000	0.00000	0.23634	0.00170
-0.00096	4.83736	0.17746	-0.31137	0.00000	0.00000	0.23374	0.01265
-0.00162	4.94310	0.18199	-0.30703	0.00000	0.00000	0.23857	-0.00773
-0.00140	4.84138	0.19830	-0.19013	0.00000	0.00000	0.23266	0.01721
-0.00106	4.93840	0.19152	-0.22466	0.00000	0.00000	0.23729	-0.00234
-0.00144	4.94722	0.22235	-0.15887	0.00000	0.00000	0.23677	-0.00012
-0.00119	4.96681	0.22098	-0.21213	0.00000	0.00000	0.23768	-0.00398
-0.00110	4.90155	0.18443	-0.14406	0.00000	0.00000	0.23383	0.01228
-0.00115	4.98015	0.18453	-0.14218	0.00000	0.00000	0.23746	-0.00307
-0.00099	4.88957	0.17069	-0.10003	0.00000	0.00000	0.23288	0.01631
-0.00101	4.93366	0.17153	-0.09996	0.00000	0.00000	0.23494	0.00758

-0.00091	4.91280	0.15987	-0.10574	0.00000	0.00000	0.23381	0.01237
-0.00107	4.97893	0.15869	-0.10114	0.00000	0.00000	0.23694	-0.00085
-0.00081	4.98739	0.14067	-0.04857	0.00000	0.00000	0.23691	-0.00073
-0.00080	4.94929	0.13843	-0.04300	0.00000	0.00000	0.23504	0.00715
-0.00082	4.96001	0.12311	-0.01997	0.00000	0.00000	0.23546	0.00538
-0.00081	4.98961	0.12089	-0.01818	0.00000	0.00000	0.23686	-0.00053
-0.00071	4.93851	0.10184	0.00414	0.00000	0.00000	0.23438	0.00996
-0.00073	5.00415	0.10120	0.00704	0.00000	0.00000	0.23747	-0.00311
-0.00070	4.95231	0.08526	0.03054	0.00000	0.00000	0.23489	0.00782
-0.00071	5.10110	0.08592	0.03437	0.00000	0.00000	0.24193	-0.02195
-0.00066	4.96635	0.07046	0.05467	0.00000	0.00000	0.23549	0.00526
-0.00067	5.04067	0.07013	0.05765	0.00000	0.00000	0.23900	-0.00956
-0.00062	4.96440	0.05896	0.07467	0.00000	0.00000	0.23528	0.00615
-0.00063	5.02004	0.05819	0.07792	0.00000	0.00000	0.23791	-0.00495
-0.00056	5.00967	0.04856	0.09402	0.00000	0.00000	0.23732	-0.00247
-0.00055	4.99194	0.03797	0.11348	0.00000	0.00000	0.23635	0.00165
-0.00054	4.97748	0.02904	0.12740	0.00000	0.00000	0.23559	0.00483
-0.00049	4.98247	0.02260	0.14062	0.00000	0.00000	0.23577	0.00408
-0.00049	4.95149	0.02105	0.14307	0.00000	0.00000	0.23427	0.01040
-0.00054	4.99936	0.01731	0.15333	0.00000	0.00000	0.23636	0.00160
-0.00054	5.02841	0.01620	0.15695	0.00000	0.00000	0.23766	-0.00390
-0.00044	4.96714	0.01307	0.16259	0.00000	0.00000	0.23459	0.00908
-0.00040	5.02231	0.01256	0.16644	0.00000	0.00000	0.23716	-0.00177
-0.00039	4.93330	0.01089	0.16956	0.00000	0.00000	0.23285	0.01643
-0.00045	5.00373	0.00962	0.17983	0.00000	0.00000	0.23603	0.00300
-0.00045	4.97789	0.00930	0.18059	0.00000	0.00000	0.23478	0.00828
-0.00043	4.99517	0.00975	0.18958	0.00000	0.00000	0.23528	0.00617
-0.00046	5.03767	0.01174	0.19377	0.00000	0.00000	0.23699	-0.00106
-0.00044	5.05395	0.01499	0.19449	0.00000	0.00000	0.23744	-0.00296
-0.00038	5.04630	0.01868	0.19390	0.00000	0.00000	0.23676	-0.00009
-0.00053	5.08878	0.02389	0.19378	0.00000	0.00000	0.23844	-0.00719
-0.00052	5.04696	0.03070	0.18807	0.00000	0.00000	0.23625	0.00205
-0.00052	5.07581	0.03913	0.18330	0.00000	0.00000	0.23717	-0.00181
-0.00057	5.06434	0.04869	0.17567	0.00000	0.00000	0.23610	0.00268
-0.00058	5.07321	0.06080	0.16702	0.00000	0.00000	0.23597	0.00323

-0.00061	5.10579	0.07347	0.15445	0.00000	0.00000	0.23699	-0.00106
-0.00065	5.10029	0.08668	0.13994	0.00000	0.00000	0.23612	0.00262
-0.00071	5.11190	0.10231	0.12498	0.00000	0.00000	0.23596	0.00327
-0.00074	5.14137	0.12095	0.10616	0.00000	0.00000	0.23657	0.00073
-0.00077	5.15558	0.14061	0.08572	0.00000	0.00000	0.23645	0.00121
-0.00083	5.21547	0.16411	0.05781	0.00000	0.00000	0.23824	-0.00634
-0.00088	5.21694	0.18034	-0.02324	0.00000	0.00000	0.23724	-0.00213
-0.00103	5.25429	0.20227	0.03296	0.00000	0.00000	0.23757	-0.00352
-0.00121	5.32254	0.21995	0.06445	0.00000	0.00000	0.23889	-0.00907
-0.00113	5.33115	0.20372	-0.01273	0.00000	0.00000	0.23705	-0.00130
-0.00165	5.44046	0.15631	0.01085	0.00000	0.00000	0.23908	-0.00988
-0.00195	5.53512	0.12606	-0.37940	0.00000	0.00000	0.23994	-0.01351
-0.00274	5.64127	0.21783	-0.11722	0.00000	0.00000	0.23962	-0.01219
-0.00259	5.77462	0.21417	-0.14196	0.00000	0.00000	0.24013	-0.01433
-0.00323	5.92616	0.22803	-0.10235	0.00000	0.00000	0.24045	-0.01570
-0.00401	6.07070	0.22158	-0.11450	0.00000	0.00000	0.23953	-0.01181
-0.00471	6.27650	0.22872	-0.12168	0.00000	0.00000	0.23994	-0.01352
-0.00561	6.48195	0.22090	-0.10335	0.00000	0.00000	0.23945	-0.01144
-0.00700	6.74667	0.22296	-0.10799	0.00000	0.00000	0.24004	-0.01397
-0.00809	7.04295	0.21827	-0.08559	0.00000	0.00000	0.24071	-0.01678
-0.00959	7.26593	0.21395	-0.07393	0.00000	0.00000	0.23837	-0.00688
-0.01077	7.55472	0.21032	-0.05411	0.00000	0.00000	0.23821	-0.00622
-0.01136	7.80452	0.20805	-0.03322	0.00000	0.00000	0.23757	-0.00350
-0.01049	8.05936	0.20693	0.00166	0.00000	0.00000	0.23903	-0.00967
-0.00477	8.05378	0.20729	0.04562	0.00000	0.00000	0.23645	0.00120
-0.00090	8.04310	0.20740	0.04512	0.00000	0.00000	0.23612	0.00260

NORMAL EQUATIONS

1.0000100	-0.6960866	-0.8156125	0.3989369	-0.4036342	-0.3844333	-0.3572544	-0.0072367
-0.6960866	1.0000100	0.8561979	-0.1479228	0.6499017	0.5733371	0.4677017	0.0048668
-0.8156125	0.8561979	1.0000100	-0.5413741	0.5176924	0.5007273	0.4662439	0.0106677
0.3989369	-0.1479228	-0.5413741	1.0000100	-0.1388287	-0.0743105	-0.0208828	-0.0340057
-0.4036342	0.6499017	0.5176924	-0.1388287	1.0000100	0.0000000	0.0000000	0.0025403
-0.3844333	0.5733371	0.5007273	-0.0743105	0.0000000	1.0000100	0.0000000	0.0024896

-0.3572544 0.4677017 0.4662439 -0.0208828 0.0000000 0.0000000 1.0000100 0.0022943

CORRELATION COEFFICIENTS

1.0000000 0.2934200 0.5544555 0.2397110 -0.3782678 -0.3875419 -0.3924554
 0.2934200 1.0000000 -0.0356283 -0.1087926 -0.8858496 -0.8535696 -0.8015079
 0.5544555 -0.0356283 1.0000000 0.8114038 -0.3468988 -0.3992164 -0.4621766
 0.2397110 -0.1087926 0.8114038 1.0000000 -0.2220185 -0.2772153 -0.3436723
 -0.3782678 -0.8858496 -0.3468988 -0.2220185 1.0000000 0.9366429 0.9155604
 -0.3875419 -0.8535696 -0.3992164 -0.2772153 0.9366429 1.0000000 0.9168059
 -0.3924554 -0.8015079 -0.4621766 -0.3436723 0.9155604 0.9168059 1.0000000

NORMAL EQUATIONS TIMES INVERSE

1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
 0.0000000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
 0.0000000 0.0000000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
 0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000
 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.0000000 0.0000000 0.0000000
 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.0000000 0.0000000
 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 1.0000000

CHECK OF COMPUTED DEPENDENT VARIABLES FROM NORMAL EQUATIONS

-0.0072367
 0.0048668
 0.0106677
 -0.0340057
 0.0025403
 0.0024896
 0.0022943

SUM OF ABSOLUTE VALUES OF CHECKS IS 0.122732D-15

Input-Output in F Format

No.	Curve	Input Param.	Correction	Output Param.	Standard Deviation
16	I	0	83.6300000000	-0.1181823824	83.5118176176 0.2619430411
20	T2	0	0.5775000000	0.0003545177	0.5778545177 0.0005484100
23	P1	0	5.5699210000	-0.0303167079	5.5396042921 0.0140664868
25	Q	0	2.2947890000	-0.0263338344	2.2684551656 0.0076658323
31	L1	1	4.4176700000	0.0055384138	4.4232084138 0.0195382049
31	L1	2	4.3450600000	0.0076887545	4.3527487545 0.0165379691
31	L1	3	4.2240900000	0.0094258768	4.2335158768 0.0137952860

Input-Output in D Format

No.	Curve	Input Param.	Correction	Output Param.	Standard Deviation
16	I	0	0.8363000000D+02	-0.1181823824D+00	0.8351181762D+02 0.2619430411D+00
20	T2	0	0.5775000000D+00	0.3545176567D-03	0.5778545177D+00 0.5484099614D-03
23	P1	0	0.5569921000D+01	-0.3031670788D-01	0.5539604292D+01 0.1406648675D-01
25	Q	0	0.2294789000D+01	-0.2633383444D-01	0.2268455166D+01 0.7665832328D-02
31	L1	1	0.4417670000D+01	0.5538413841D-02	0.4423208414D+01 0.1953820495D-01
31	L1	2	0.4345060000D+01	0.7688754521D-02	0.4352748755D+01 0.1653796907D-01
31	L1	3	0.4224090000D+01	0.9425876756D-02	0.4233515877D+01 0.1379528598D-01

Sum(W*Res**2) for input values	Sum(W*Res**2) predicted	determinant
0.0661587196619636	0.0641786962077569	0.615242D-03

RADII AND RELATED QUANTITIES (FROM INPUT)

COMPONENT	R	DR/DOM	DR/DQ	S.D.
1 POLE	0.296740	-0.083636	0.080181	0.001327
1 SIDE	0.310609	-0.100377	0.100701	0.001609
1 BACK	0.348677	-0.165471	0.190446	0.002748
2 POLE	0.433008	-0.079531	-0.031804	0.001145
2 SIDE	0.462962	-0.104962	-0.046409	0.001519
2 BACK	0.493085	-0.137696	-0.077069	0.002025

DOM1/DQ	DOM2/DQ	OM1-Q CORR.	OM2-Q CORR.	OM1 S.D.	OM2 S.D.	Q S.D.
1.381725	-0.378417	0.000000	0.000000	0.014066	0.014066	0.007666

Begins at 11h 50m 4s YMD 2009 5 17

Ends at 11h 50m 13s YMD 2009 5 17

ภาคผนวก ค

ข้อมูล O-C

ตาราง ค-1 แสดงค่า O-C

Reference	HJD 2400000+	Epoch	O-C
Guriev N I	28103.5200	-7784	0.0313
Guriev N I	28104.4800	-7781	-0.0005
Guriev N I	28135.2700	-7688	0.0436
Guriev N I	28135.4100	-7688	0.0186
Guriev N I	28136.3800	-7685	-0.0032
Guriev N I	28137.5500	-7681	0.0094
Guriev N I	28153.2500	-7634	0.0062
Guriev N I	28161.1900	-7610	0.0118
Guriev N I	28161.3900	-7609	0.0462
Guriev N I	28163.1700	-7604	0.0082
Guriev N I	28163.3500	-7603	0.0226
Guriev N I	28163.5000	-7603	0.0076
Guriev N I	28176.2300	-7564	0.0092
Guriev N I	28179.1900	-7555	-0.0062
Guriev N I	28181.1800	-7549	0.0002
Guriev N I	28184.1400	-7540	-0.0152
Guriev N I	28190.1300	-7522	0.024
Guriev N I	28198.2300	-7498	0.0245
Guriev N I	28201.5000	-7488	-0.0115
Guriev N I	28210.1100	-7462	0.0029
Guriev N I	28213.2600	-7452	0.0119
Whitney B S	30677.0480	0	0
Zessewitsch V P	31138.2370	1395	0.0013
Zessewitsch V P	31143.2050	1410	0.0103
Zessewitsch V P	31149.1420	1428	-0.0035

Reference	HJD 2400000+	Epoch	O-C
Zessewitsch V P	31150.1340	1431	-0.0033
Zessewitsch V P	31150.2920	1432	-0.0109
Zessewitsch V P	31154.2500	1444	-0.0201
Zessewitsch V P	31156.2390	1450	-0.0147
Zessewitsch V P	31156.3900	1450	-0.0287
Zessewitsch V P	31157.2380	1453	-0.0075
Zessewitsch V P	31158.2270	1456	-0.0103
Zessewitsch V P	31162.3740	1468	0.0045
Zessewitsch V P	31164.3420	1474	-0.0111
Zessewitsch V P	31165.3600	1477	0.0151
Zessewitsch V P	31170.1350	1492	-0.0039
Zessewitsch V P	31176.2450	1510	-0.0098
Zessewitsch V P	31178.2320	1516	-0.0064
Zessewitsch V P	31179.2310	1519	0.0008
Zessewitsch V P	31186.1730	1540	0.0002
Whitney B S	31204.6770	1596	-0.0094
Zessewitsch V P	31216.2460	1631	-0.0114
Zessewitsch V P	31219.2240	1640	-0.0088
Zessewitsch V P	31224.1950	1655	0.0032
Zessewitsch V P	31411.4730	2222	-0.0043
Whitney B S	31497.9270	2483	-0.002
Whitney B S	31937.6150	3813	-0.0127
Whitney B S	32675.8560	6046	-0.0026
Ashbrook J	33009.4180	7055	-0.0165
Whitney B S	33382.6580	8184	-0.0245
Koch	34847.7080	12616	-0.0309
Whitney B S	35242.6080	13810	-0.0329

Reference	HJD 2400000+	Epoch	O-C
Diethelm Roger	41762.3340	33531	-0.0794
Diethelm Roger	41764.3070	33537	-0.09
Diethelm Roger	41795.3800	33631	-0.0934
Diethelm Roger	42089.2810	34520	-0.0963
Diethelm Roger	42109.4470	34581	-0.0969
Diethelm Roger	42132.4120	34651	-0.1089
Hoffmann M	45021.3400	43389	-0.1331
Hoffmann M	45021.5060	43390	-0.1327
Yunlin Z	46115.1385	46698	-0.1266
Yunlin Z	46115.3043	46698	-0.1258
Yunlin Z	46117.1235	46704	-0.1253
Yunlin Z	46117.2886	46704	-0.1252
Kleikamp Wilhelm	50177.2993	58985	-0.0542
Kleikamp Wilhelm	50481.4469	59905	-0.0591
Kiyota Seiichiro	50853.0460	61029	-0.0549
Kiyota Seichihiro	50853.0464	61029	-0.0545
Kiyota Seichihiro	50853.0693	61029	-0.0316
Kiyota Seiichiro	50854.0390	61032	-0.0537
Kleikamp Wilhelm	50859.4938	61048	-0.0535
Blaettler Ernst	50954.3774	61335	-0.0523
Paschke Anton	51274.8970	62305	-0.0502
Kleikamp Wilhelm	51641.3744	63413	-0.0431
Nagai Kazuhiro	51915.1190	64241	-0.0357
Nagai Kazuhiro	51915.2775	64242	-0.0428
Kleikamp Wilhelm	51926.5227	64276	-0.038
Nelson Robert	51934.9513	64301	-0.0395
Nagai Kazuhiro	51939.0841	64314	-0.0395

Reference	HJD 2400000+	Epoch	O-C
Nagai Kazuhiro	51939.0841	64314	-0.0395
Nagai Kazuhiro	51940.0787	64317	-0.0367
Nagai Kazuhiro	51940.0787	64317	-0.0367
Nakajima Kazuhir	52297.1270	65397	-0.0369
Kiyota Seichihiro	52313.1538	65445	-0.0439
Nagai Kazuhiro	52321.1002	65469	-0.0319
Nagai Kazuhiro	52321.1002	65469	-0.0319
Nelson Robert	52600.9568	66316	-0.029
Nakajima Kazuhir	52969.2469	67430	-0.0278
Nakajima Kazuhir	52969.2486	67430	-0.0261
Nelson Robert	52986.9370	67483	-0.0245
Kiyota Seichihiro	53032.0642	67620	-0.0246
Kiyota Seichihiro	53032.0643	67620	-0.0245
Kiyota Seichihiro	53032.0646	67620	-0.0242
Kiyota Seichihiro	53032.2288	67620	-0.025
Kiyota Seichihiro	53032.2292	67620	-0.0246
Kiyota Seichihiro	53032.2292	67620	-0.0246
Samolyk G	53049.7512	67673	-0.0244
Nagai Kazuhiro	53052.0657	67680	-0.0241
Nakajima Kazuhir	53362.3383	68619	-0.0204
Paschke Anton	53387.4620	68695	-0.0223
Nagai Kazuo	53438.0436	68848	-0.0226
Kiyota Seiichir	53719.2260	69698	-0.0156
Samolyk G	53763.8579	69833	-0.0148
Nagai Kazuo	53777.0817	69873	-0.015
Samolyk G	53836.5911	70053	-0.0137
Maehara Hiroyuki	54099.2552	70848	-0.012

Reference	HJD 2400000+	Epoch	O-C
Nagai Kazuo	54138.1017	70965	-0.0108
Dogru S S	54161.4093	71036	-0.0108
Samolyk G	54176.7828	71082	-0.0099
Zasche Petr	54189.3453	71120	-0.0103
Agerer Franz	54202.4030	71160	-0.0116
Zasche Petr	54210.3381	71184	-0.0109
Samolyk G	54519.6196	72119	-0.0059
Poklar R	54532.6783	72159	-0.0062
Samolyk G	54545.5721	72198	-0.0058
Bialozynski J	54552.6809	72219	-0.0046
Nakajima Kazuhir	54554.0032	72223	-0.0047
Bialozynski J	54566.7304	72262	-0.0059
Diethelm Roger	54832.8694	73067	-0.0003
งานวิจัยนี้	54880.1452	73210	-0.0004

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายเชิดตระกูล หอมจำปา

วัน เดือน ปีเกิด : 8 มกราคม 2518

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี

วุฒิ : ครุศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์)

สถาบัน : สถาบันราชภัฏเลย

สำเร็จการศึกษา : 2541

วุฒิการศึกษาระดับปริญญาโท

วุฒิ : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนฟิสิกส์)

สถาบัน : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สำเร็จการศึกษา : 2543

ประวัติการทำงาน

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง : อาจารย์ ระดับ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

: รองคณบดี คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา