

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

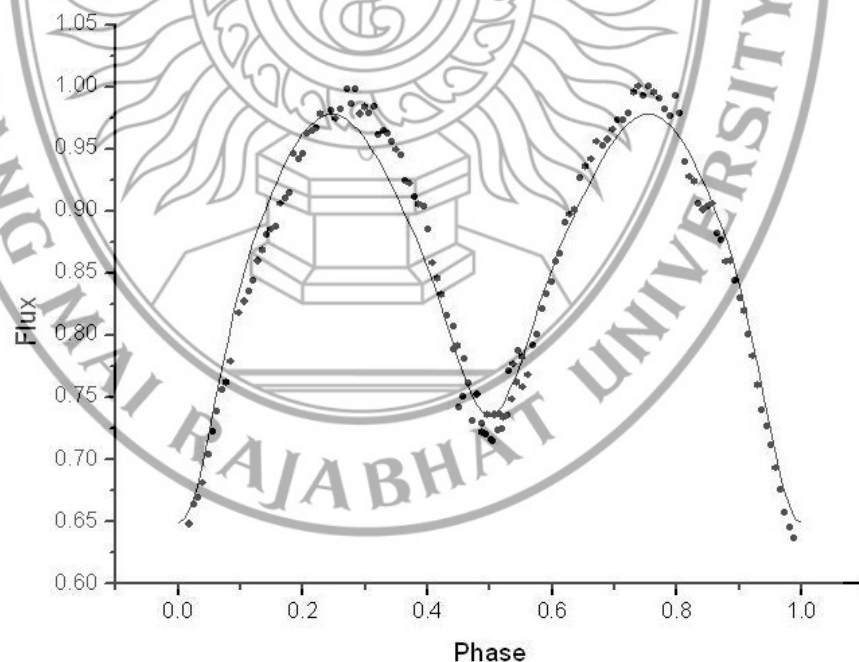
4.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี

จากผลการสังเกตการณ์ทางแสงที่ได้ในบทที่ 3 สามารถวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ และแบบจำลองของระบบดาวคู่ โดยใช้โปรแกรมวิลสัน-เดวินี จะได้ชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดเพื่อสร้างกราฟแสงดังตาราง 4.1 และได้ชุดของพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ XY Leonis ดังตาราง 4.2

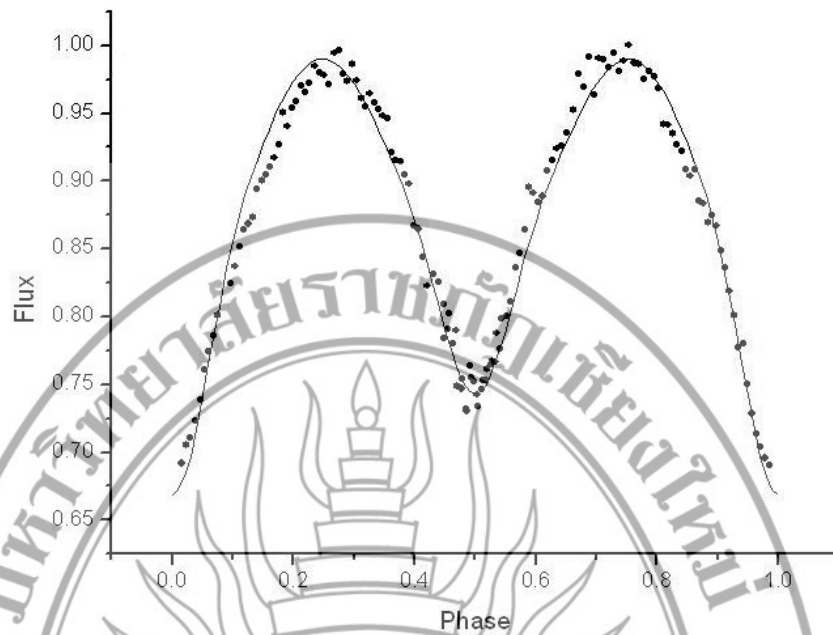
ตาราง 4.1 แสดงชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด

Mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	q	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
3	65.584	4186	3.9217	3.9217	1.10485	7.3511	7.0776	0.002587	0.002543

จากชุดของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด สามารถสร้างกราฟแสงซึ่งเคราะห์ได้ดังรูป 4.1 และ 4.2



รูป 4.1 กราฟแสงซึ่งเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกต ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน

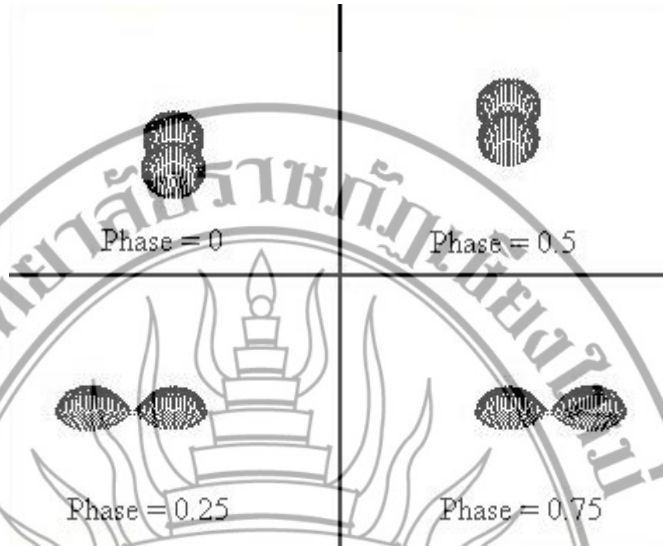


รูป 4.2 กราฟแสงสว่างเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกต ในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง

ตาราง 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สร้างแบบจำลองระบบดาวคู่ XY Leonis

พารามิเตอร์	คำตอบที่ดีที่สุด
i	$65.584^{\circ} \pm 0.28203$
g_1	1.00
g_2	0.32
$\Omega_1 = \Omega_2$	3.9217 ± 0.00768
Ω_{out}	3.1023
Ω_{in}	3.9260
$T_1(\text{K})$	4600
$T_2(\text{K})$	4186 ± 135
A_1	1.00
A_2	0.50
q	1.10485 ± 0.00391
$L_{1B} / (L_1 + L_2)_B$	0.6515 ± 0.06513
$L_{1V} / (L_1 + L_2)_V$	0.6155 ± 0.05273
Degree of Contact	0.52 %

จากพารามิเตอร์ในตาราง 4.2 สามารถสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่ได้ดังรูป 4.3



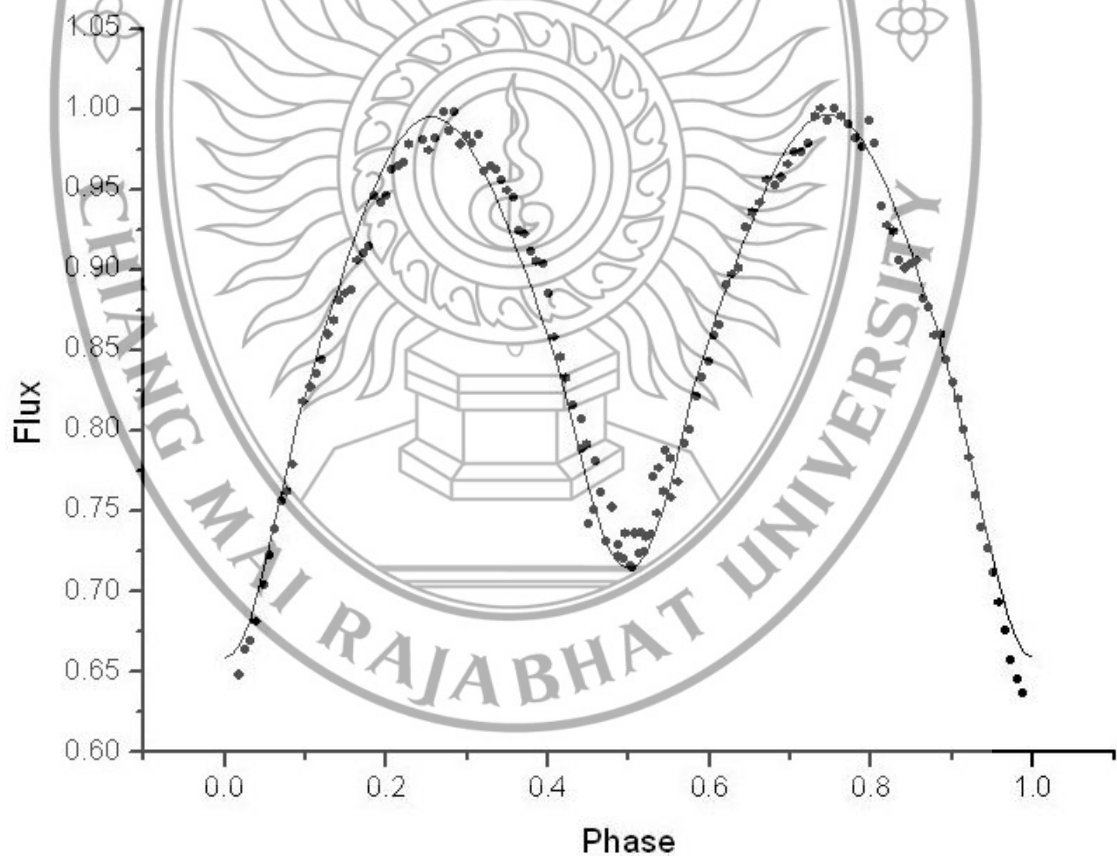
รูป 4.3 แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ XY Leonis

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่า กราฟแสงสังเคราะห์กับกราฟแสงที่ได้จากการสังเกตการณ์ ยังไม่สอดคล้องกันเท่าที่ควร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเพิ่มการวิเคราะห์จุดเย็น (Cool Spot) ที่อยู่บนดาวมวลมากคือดาวฤกษ์ที่มี ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ดังตาราง 4.3 ซึ่งสามารถสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ได้ดังรูป 4.4 และ 4.5 และสร้างแบบจำลองของระบบดาวคู่นี้ได้ดังรูปที่ 4.6

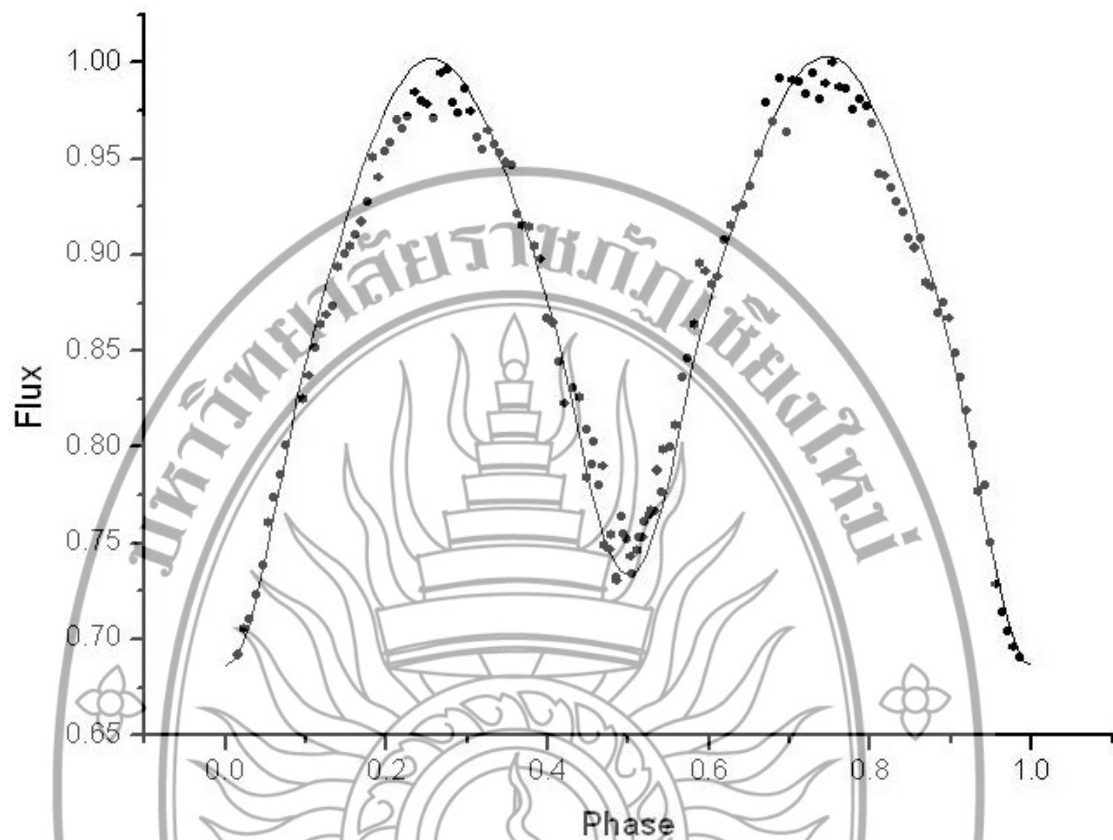
ตาราง 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่มีจุดเย็นอยู่ที่ดาวฤกษ์ของระบบดาวคู่ XY Leonis

พารามิเตอร์	คำตอบที่ดีที่สุด
Spot Latitude	$98.19^\circ \pm 45.59$
Spot Longitude	$176.17^\circ \pm 16.20$
Spot Radius	$32.39^\circ \pm 25.32$
Spot Temperature Factor	0.938 ± 0.046
i	$64.240^\circ \pm 0.35159$
g_1	1.00
g_1	0.32
$\Omega_1 = \Omega_2$	3.9190 ± 0.00498

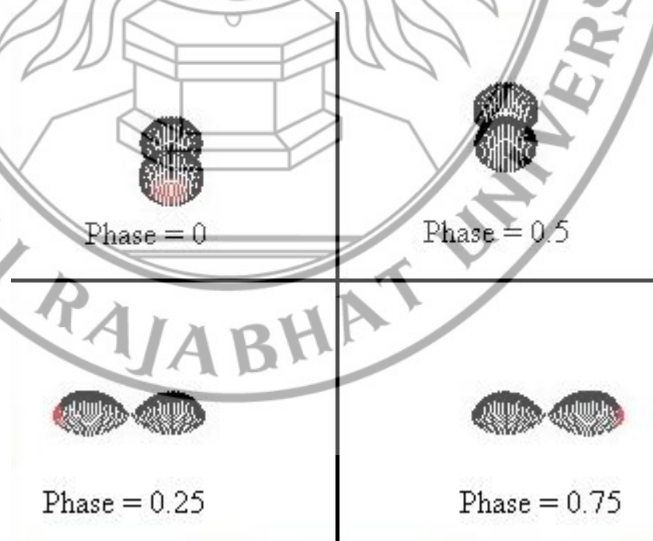
พารามิเตอร์	คำตอบที่ดีที่สุด
Ω_{out}	3.0904
Ω_{in}	3.9358
$T_1(\text{K})$	4600
$T_2(\text{K})$	4568 ± 43
A_1	1.00
A_2	0.50
q	1.11671 ± 0.00487
$L_{1B} / (L_1 + L_2)_B$	0.4853 ± 0.21354
$L_{1V} / (L_1 + L_2)_V$	0.4828 ± 0.16636
Degree of Contact	1.99 %



รูป 4.4 กราฟแสงสักระยะที่มีจุดยืนอยู่ที่ดาวฤกษ์คู่หนึ่ง เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกต ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน



รูป 4.5 กราฟแสงตั้งเคราะห์ที่มีจุดเย็นอยู่ที่ดาวพฤหัสบดี เปรียบเทียบกับข้อมูลจากการสังเกตในช่วงความยาวคลื่นสีแดง



รูป 4.6 แสดงแบบจำลองของระบบดาวคู่ XY Leonis ที่มีจุดเย็นอยู่ที่ดาวพฤหัสบดี

4.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ XY Leonis

จากผลการสังเกตการณ์ทางแสงที่ได้ในบทที่ 3 สามารถนำกราฟแสงที่ได้มาวิเคราะห์หา Time of Minimum Light ได้ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 แสดง Time of Minimum Light ที่หาได้จากกราฟแสงของระบบดาวคู่แบบเดียวกัน XY Leonis ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเหลือง

ช่วงความยาวคลื่น	Time of Minimum (HJD)	ชนิดของอุปกรณ์
สีน้ำเงิน	2453430.21612	ปฐมภูมิ
สีเหลือง	2453430.21516	ปฐมภูมิ

จาก Linear Ephemeris ที่ Kreiner et.al คำนวณไว้ในปี ค.ศ. 2001

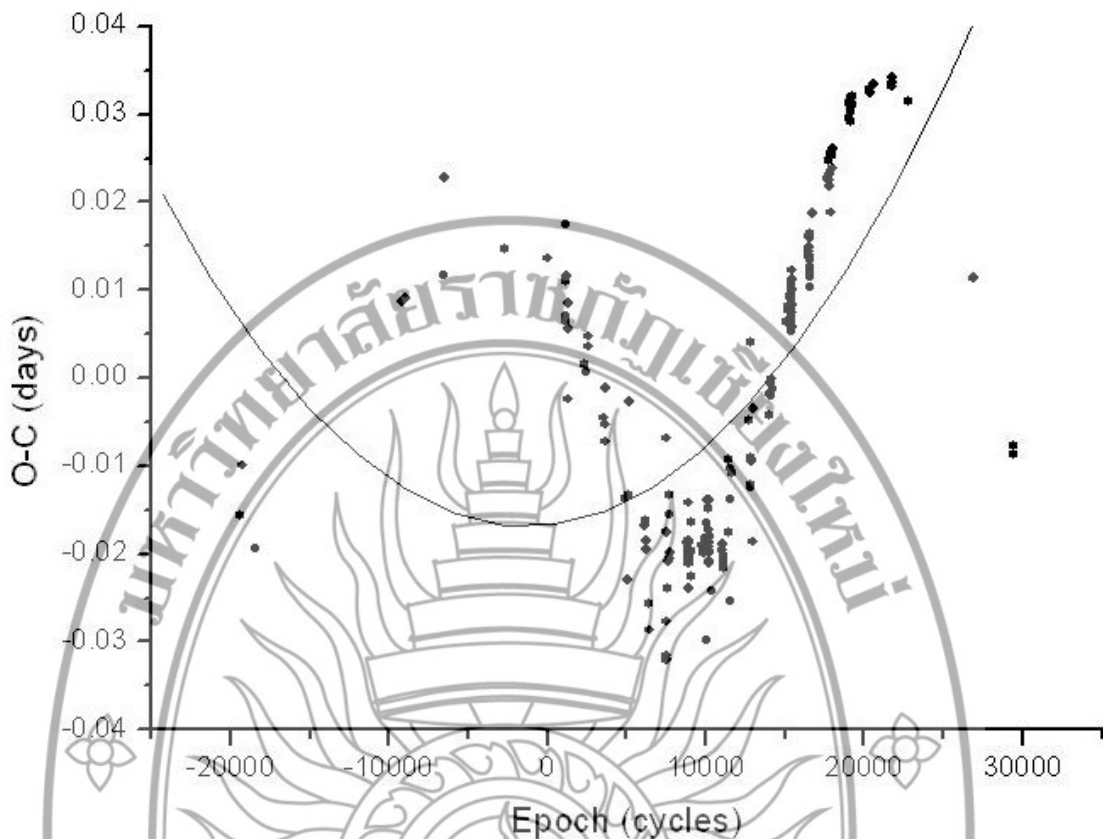
$$HJD.MinI = 2445074.477 + 0.28410278 E \quad 4.1$$

แทนค่า Time of Minimum light (O) จากตาราง 4.3 เพื่อหาค่า Epoch และคำนวณค่า time of minimum light (C) จากสมการ 4.1 นี้ จะได้ค่า $O - C$ ดังแสดงในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 แสดงค่าที่คำนวณได้จาก Linear Ephemeris และค่า $O - C$

ความยาวคลื่น	HJD (O)	Epoch	C	$O - C$
สีน้ำเงิน	2453430.21612	29411	2453430.22386	-0.00774
สีเหลือง	2453430.21516	29411	2453430.22386	-0.00871

ค่า $O - C$ ที่ได้จากการสังเกตการณ์นี้จะประกอบกับค่า $O - C$ ที่นักดาราศาสตร์ท่านอื่นๆ เคยทำไว้ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) นำมาสร้างแผนภาพ $O - C$ ซึ่งจะได้ดังรูป 4.7



รูป 4.7 แสดงแผนภาพ $O-C$ ของระบบดาวคู่แบบตะวันตก XY Leonis

จากกราฟจะเห็นว่า ข้อมูลช่วงแรกๆ ประมาณ -20000 ถึง -2000 การเปลี่ยนแปลงคาบจะมีลักษณะที่คาบลดลง นั่นคือ ดาวอยู่ใกล้กันมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี AML หลังจากนั้นเมื่อมีการปรับสมดุลแล้ว ดาวจะค่อยๆ แยกออกจากกัน ส่งผลให้คาบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปตามทฤษฎี TRO

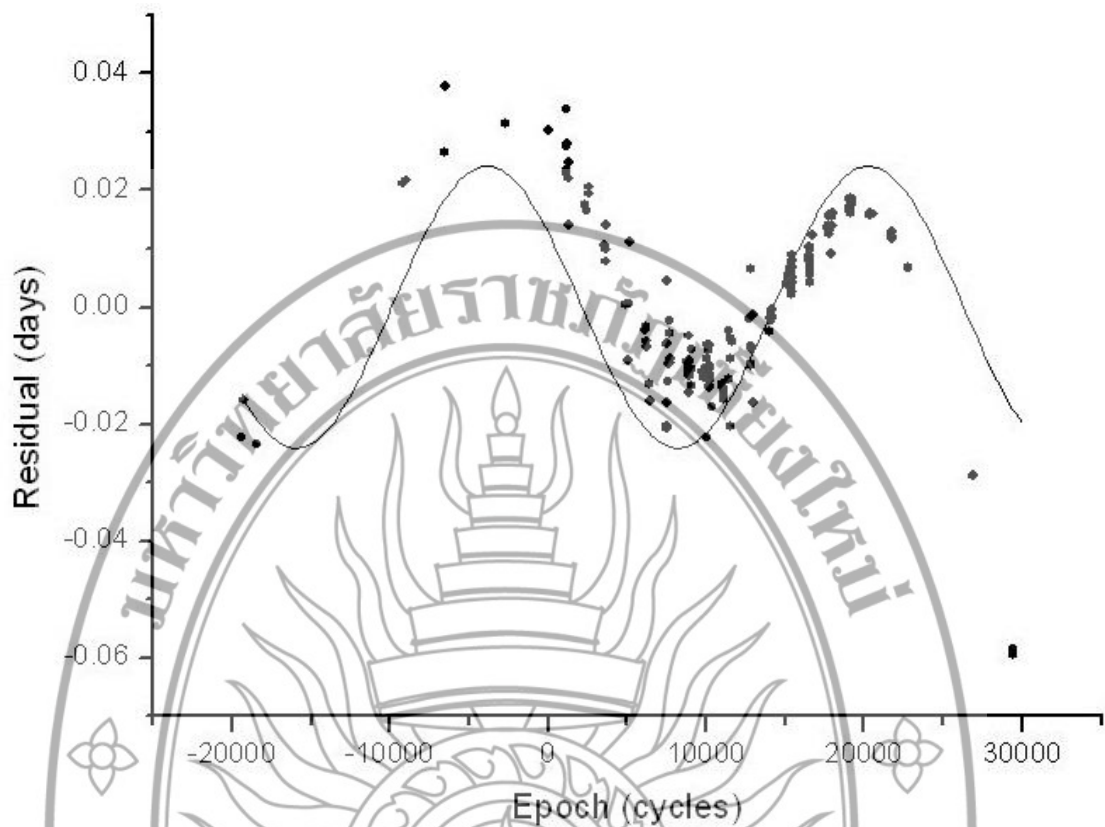
โดยเมื่อใช้ Quadratic Polynomial Fitting Method ทำให้ได้สมการ

$$O-C = (-0.01676) + (1.90819 \times 10^{-7})Epoch + (7.15627 \times 10^{-11})Epoch^2 \quad (4.2)$$

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ XY Leonis จึงเท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dE} &= 2(7.15627 \times 10^{-11}) \quad \text{days / cycle} \\ &= 1.59 \times 10^{-2} \quad \text{วินาทีต่อปี} \end{aligned}$$

และสามารถคำนวณหาค่า Residuals ได้จากผลต่างระหว่างค่า $O-C$ ที่ได้จากการคำนวณด้วย Linear Ephemeris ตามสมการ 4.1 และค่า $O-C$ ที่ได้จากการคำนวณด้วย Parabolic Ephemeris จากสมการ 4.2 ได้แผนภาพ Residual ดังรูป 4.8



รูป 4.8 แสดงแผนภาพ Residual ของระบบดาวคู่แบบตะวันตก XY Leonis

จากรูป 4.8 จะเห็นว่าค่า Residual ที่ได้นี้ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่แน่นอน แต่มีแนวโน้มในลักษณะที่เป็นคาบ ดังนั้นจึงคาดว่าค่า Residual นี้มีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นคาบ และหา Periodic Ephemeris ที่ดีที่สุดสำหรับค่า Residual ได้เป็น

$$O - C = -0.02411(0.0005) \times \sin[2.602103205 \times 10^{-4} (2.892842953 \times 10^{-6}) E - 0.561530436(0.04098059838)] \quad (4.3)$$

การเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรในลักษณะที่เป็นคาบนี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการมีอยู่ของสมาชิกดวงที่สามในระบบ โดยที่ค่า Residual มีการเปลี่ยนแปลงเป็นคาบ ที่มี Amplitude เท่ากับ 0.02411 day และมีความถี่ $f = (2.602103205 \times 10^{-4})\pi$ สามารถหาค่า light time ได้จาก Amplitude โดยแปลงจากหน่วยวันให้เป็นวินาทีแล้วคูณด้วยความเร็วแสง จะได้เป็นระยะทาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.166 AU และสำหรับความถี่ที่สามารถนำไปคำนวณหาคาบได้ โดยที่ $P = 1 / f$ แต่ค่า P ที่ได้นี้จะมีหน่วยเป็นรอบ ต้องนำ P มาหารด้วยคาบการโคจรของดาวคู่ ซึ่งคำนวณคาบ P ได้ประมาณ 18.78 ปี