

บทที่ 4

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ บีวี อิริดानीด้วยโปรแกรมวิลสันและเดวินนี่

4.1 โปรแกรมวิลสัน – เดวินนี่ (Wilson-Devinney Program)

โปรแกรมวิลสัน – เดวินนี่ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ เพื่อนำไปสร้างข้อมูลกราฟแสงและกราฟความเร็วซึ่งประกอบด้วยโปรแกรมหลัก สองส่วน ดังนี้

1. โปรแกรมหลัก **Differential Correction (DC)** เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น อัตราส่วนมวล อุณหภูมิ ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร กำลังส่องสว่าง เป็นต้น การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทำได้โดยการใส่ค่าพารามิเตอร์ เริ่มต้นเข้าไปในโปรแกรม พร้อมกับข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ที่ทำการเฉลี่ยแล้ว คือ เฟส พลั๊กซ์ และค่าน้ำหนักของการเฉลี่ย โปรแกรมจะสร้างข้อมูลจากค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นเหล่านี้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เฉลี่ยจากการสังเกตการณ์แล้วข้างต้น ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) โปรแกรมจะบอกค่าความถูกต้องของพารามิเตอร์ (Parameter Corrections) ค่าความผิดพลาดที่เป็นไปได้ (Probable Errors) ของพารามิเตอร์แต่ละตัว ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ป้อนเข้า ($\sum_{input}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากทฤษฎี ($\sum_{predict}$) ถ้าข้อมูลที่โปรแกรมสร้างขึ้นสอดคล้องกับข้อมูลจากการสังเกตค่า Parameter corrections ทุกตัวจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่า Probable Errors และค่า $\sum_{input}$ กับ $\sum_{predict}$ จะต้องมีค่าน้อยและใกล้เคียงกัน ในทางตรงข้าม ถ้าค่า Parameter correction มากกว่า Probable Errors รวมทั้งค่า $\sum_{input}$ กับ ค่า $\sum_{predict}$ มีค่ามากและต่างกันมาก ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปถือว่ายังใช้ไม่ได้ และต้องใส่พารามิเตอร์เข้าไปใหม่ โดยค่าพารามิเตอร์ที่จะป้อนเข้าไปใหม่ ได้จากการนำค่าพารามิเตอร์ตอนเริ่มต้นบวกกับค่า Parameter Corrections ดังนั้นข้อมูลที่ต้องป้อนเข้า (Input) ของโปรแกรม DC ประกอบด้วย เซตของพารามิเตอร์และข้อมูลจากการสังเกตการณ์ซึ่งได้แก่ เฟส (phase) ความเข้มแสง (Intensity) และค่าน้ำหนักของการเฉลี่ย (Weight) ส่วนผลลัพธ์ (output) ของโปรแกรมประกอบด้วย

ข้อมูลที่โปรแกรมคำนวณ จากเซตของพารามิเตอร์ ค่า Parameter corrections ค่า Probable Errors ค่า $\sum_{\text{input}}$ และค่า $\sum_{\text{predict}}$

2. โปรแกรมหลัก Light and velocity curves (LC) เป็นโปรแกรมที่สร้างข้อมูลที่จะนำไปสร้างกราฟแสงสังเคราะห์ (Synthetic light curve) และกราฟความเร็ว (velocity curves) จากค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ โดยโปรแกรมหลัก DC และข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในโปรแกรม LC คือ เซตของพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากโปรแกรมหลัก DC และข้อมูลจากการสังเกต ส่วนผลจากการรันโปรแกรม LC คือ ข้อมูลของกราฟแสงสังเคราะห์และข้อมูลของกราฟความเร็ว

4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรม วิลสัน - เดวินนี่

พารามิเตอร์ที่ใช้ในโปรแกรมหลัก DC และโปรแกรมหลัก LC มีทั้งพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้และพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ ดังนี้

1. พารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้

PERIOD คือ คาบการโคจรของระบบดาวคู่ ในหน่วยของวันสุริยะเฉลี่ย (Mean Solar Days) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณกราฟความเร็ว

THE คือ ช่วงเวลาครึ่งหนึ่ง (Semi - Duration) ของการเกิดอุปราคาใช้สำหรับ Mode 1 และใช้ในระบบดาวคู่ที่มีดาวปฐมภูมิเป็นดาวนิวตรอน (Newton star) หลุมดำ (Black hole) หรือ ดาวแคระขาว (White Dwarf)

2. พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.1 พารามิเตอร์ที่ไม่ขึ้นกับ ความยาวคลื่น ได้แก่

ECC คือ ค่า Binary Orbital Eccentricity

ARG.PERI คือ Argument of Periastron ที่สามารถเปลี่ยนค่าได้ เฉพาะในแต่ละเฟส ของการเกิดอุปราคา ในกรณีที่วงโคจรเป็นวงกลม โปรแกรมจะกำหนดให้พารามิเตอร์ที่มีค่า 90 องศา

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

F₁, F₂ คือ อัตราส่วนการหมุน (Axial Rotation Rate) ของดาวกับอัตราส่วนการโคจรเฉลี่ย (Mean Orbital Rotation Rate) ของดาวปฐมภูมิและทุติยภูมิตามลำดับ

V_r คือ ความเร็วในแนวรัศมีที่ศูนย์กลางมวลของระบบดาวคู่

PSHIFT คือ ค่า constant shift ที่นำมาใช้ในการคำนวณ เฟส เช่นในการเปลี่ยนเฟส

ระหว่างดาวปฐมภูมิ และดาวทุติยภูมิ สามารถใช้พารามิเตอร์นี้ในการเลื่อนเฟสได้

โดยไม่ต้องสลับข้อมูลจากการสังเกต โดยปกติพารามิเตอร์นี้มีค่า 0.0000

i คือ มุมเอียงของระนาบวงโคจร มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศา เมื่อ i = 0 องศา ระนาบการ

โคจรจะตั้งฉากกับแนวสายตาของผู้สังเกตการณ์ และเมื่อ $i = 90$ องศา ระยะเวลาโคจรจะอยู่ในแนวเดียวกับแนวสายตา

- g_1, g_2 คือ Gravity Darkening Exponent ของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิตามลำดับ โดย $g = 1.00$ สำหรับ Radiative star และ $g = 0.32$ สำหรับ Convective Star
- T_1, T_2 คือ อุณหภูมิพื้นผิวสัมฤทธิ์เฉลี่ย (Mean Surface Effective Temperature) ของดาวปฐุมภูมิ และดาวทุติยภูมิ ตามลำดับ
- A_1, A_2 คือ Bolometric Albedos ของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิตามลำดับ โดยที่ $A = 1.00$ สำหรับ Radiative Star และ $A = 0.50$ สำหรับ Convective Star
- Ω_1, Ω_2 คือ ค่าศักย์โน้มถ่วงที่ผิวของดาวปฐุมภูมิและดาวทุติยภูมิตามลำดับ
- q คือ อัตราส่วนมวล (mass ratio, $q = m_2/m_1$) ของระบบ
- $X_{1(BOL)}, X_{2(BOL)}$ คือ สัมประสิทธิ์ของ Cosine ในกฎของ Bolometric Limb Darkening

$$\frac{I}{I_0} = 1 - X + X \cos \delta - Y \cos \delta (\ln \cos \delta)$$

- $Y_{1(BOL)}, Y_{2(BOL)}$ คือ สัมประสิทธิ์ของเทอม $\cos \delta (\ln \cos \delta)$ ในกฎของ Bolometric Limb Darkening

SPOT LAT. คือ ละติจูดของศูนย์กลางจุดมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา โดยวัดจากขั้วเหนือถึงขั้วใต้ของดาว

SPOT LONG. คือ ลองติจูด ของศูนย์กลางจุดมีค่า 0 ถึง 360 องศา วัดตามเข็มนาฬิกาจากเส้นต่อระหว่างศูนย์กลางมวลเมื่อมองจาก Upper pole เนื่องจากค่า DEL ของละติจูดและลองจิจูดมีหน่วยเป็นองศา แต่ใน Parameter Corrections ที่คำนวณจากโปรแกรมหลัก DC มีหน่วยเป็นองศาแต่ใน Parameter Corrections ที่คำนวณจากโปรแกรมหลัก DC มีหน่วยเป็น เรเดียน (radian) ดังนั้นต้องเปลี่ยนมุมเรเดียนเป็นหน่วยองศา โดยการคูณด้วย $\pi/180$ จึงจะนำไปใช้ได้

SPOT ANG.RAD คือ รัศมีเชิงมุม (Angular Radius) ของจุดมีหน่วยเป็นองศาโดยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ละติจูดที่กำหนด

SPOT TEMP.FACTOR คือเปอร์เซ็นต์ที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่าของอุณหภูมิจุด (Spot) เมื่อเทียบกับบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ของดาว เช่น SPOT TEMP. FACTOR = 0.6 หมายถึงจุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบรรยากาศ 40 เปอร์เซ็นต์ ถือเป็นจุดเย็น (Cool Spot) และถ้า SPOT TEMP.FACTOR = 1.25 จุดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศดาว 25 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าเป็นจุดร้อน (Hot Spot) และถ้า SPOT TEMP.FACTOR = 1 อุณหภูมิของจุดเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศดาวชั้นโฟโตสเฟียร์ นั่นคือไม่มีจุดบนผิวดาว

2.2 พารามิเตอร์ที่ขึ้นกับความยาวคลื่น ได้แก่

L_1, L_2 คือ กำลังส่องสว่างของดาวปฐมภูมิและดาวทุติยภูมิ ตามลำดับ

X_1, X_2, y_1, y_2 คือ สัมประสิทธิ์ของการมีดคล้ำที่ขอบดาวที่ความยาวคลื่นใด ๆ ซึ่งมีรูป

แบบเหมือนกฎของ Bolometric Limb Darkening ข้างต้น

I_3 คือ ความเข้มของแสงดาวดวงที่ 3 (Third Light)

4.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพของระบบดาวคู่ บีวี อิริดानी

ขั้นตอนการคำนวณค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม วิลสัน – เดวินนี่ มีดังนี้

1. การคำนวณพารามิเตอร์จากโปรแกรมหลัก DC แบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

1.1 ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้และปรับค่าได้ ป้อนเข้าในโปรแกรมหลัก DC ดังนี้ พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ เช่น ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร (i) ค่าศักย์ของพื้นผิวดาวปฐมภูมิ (Ω_1) และดาวทุติยภูมิ (Ω_2) อุณหภูมิพื้นผิวสัมฤทธิ์ของดาวทุติยภูมิ (T_2) ค่าความสว่างของดาวปฐมภูมิ (L_1) ส่วนพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ คือ คาบของการโคจรบังกัน (p) สำหรับดาวบีวี อิริดानी เท่ากับ 0.5076649 วัน อุณหภูมิสัมฤทธิ์ของดาวปฐมภูมิ (T_1) เท่ากับ 6850 k ค่าความมืดคล้ำที่ขอบดวงเนื่องจากความโน้มถ่วง (g) สำหรับดาวบีวี อิริดानी $g = 0.320$ ซึ่งเป็น Convective star ค่าการสะท้อนแสง (A) ซึ่งเท่ากับ 0.500 เพราะดาวบีวี อิริดानी เป็น Convective star ค่าความยาวคลื่น เมื่อใช้แผ่นกรองแสง สีเหลือง (Visual filter) เท่ากับ 5500 อังสตรอม และ 4300 อังสตรอม สำหรับสีน้ำเงิน (Blue filter)ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าโปรแกรม DC คือ ข้อมูลจากการสังเกตการณ์ที่เฉลี่ยข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เช่น เฟสสัดส่วนความเข้ม (Intensity ratio) และค่าน้ำหนักเฉลี่ยดังตัวอย่างตาม ภาคผนวก

1.2 กำหนดค่าอัตราส่วนมวล (q) เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ก่อนในช่วงแรกโดยให้คงที่จาก 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ

1.3 การกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับค่าได้หรือไม่ได้ โดยการ KEEP = 1 สำหรับพารามิเตอร์ที่ปรับค่าไม่ได้ และ KEEP = 0 สำหรับพารามิเตอร์ที่ต้องการปรับค่า

1.4 รัน โปรแกรมหลัก DC ด้วยคำสั่ง Dc92 _ <ชื่อไฟล์อินพุต>_ ชื่อไฟล์เอาต์พุต เช่น dc92_ <BV01q2.dat>_BV01q2 โดยในการรันโปรแกรม DC ให้ fix ค่า q คงที่ตาม ข้อ (1.2) จนกว่าจะได้ Best solution สำหรับแต่ละค่าสัดส่วนมวลก่อนค่อยทำการรันโปรแกรมด้วยการ fix ค่า q ตัวอื่น ๆ ต่อไป

1.5 ผลจากการรันโปรแกรมจะได้ว่า Parameter Corrections ค่า Probable Errors ค่า

$\sum_{input}$ และค่า $\sum_{predict}$ พารามิเตอร์ที่มีค่า Parameter Corrections มากกว่าค่า Probable Errors ถือว่าพารามิเตอร์นั้นมีความผิดพลาดสูง ในการรันโปรแกรมครั้งต่อไปพารามิเตอร์ที่จะป้อนเข้าไปใหม่ได้จากพารามิเตอร์ชุดเดิมที่ใส่เข้าไปก่อนหน้านี้ บวกกับค่า Parameter Corrections ทำการรัน โปรแกรมจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่า $\sum_{input}$ และ $\sum_{predict}$ ต้องมีค่าน้อยและเกือบเท่ากัน เนื่องจากการรันโปรแกรม DC มีชุดพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นการปรับพารามิเตอร์ควรปรับเป็นกลุ่ม ดังนี้ $\{i\}$, $\{T_2, \Omega_1, q, L_1\}$ และ $\{\text{Parameter of Spot}\}$

1.6 การกำหนดชนิด (mode) ของดาวคู่ให้เริ่มจาก mode 2(Detached mode) คือ ให้ดาวคู่เป็นชนิดดาวคู่แบบแยกกัน เพื่อที่จะให้สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของศักย์ที่ผิวของดาวทั้งสองดวงได้ เนื่องจากขนาดของดาวทั้งสองยังไม่เต็มผิวโรชซ์ และในการใส่ค่าพารามิเตอร์ของศักย์ที่ผิวดาวต้องพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าศักย์พื้นผิววิกฤต (Critical Surface potential, Ω_{in}) ดังแสดงในภาคผนวก ข โดยพิจารณาดังนี้ถ้า

ค่า $\Omega > \Omega_{in}$ หมายความว่า ขนาดของดาวยังไม่เต็มผิวโรชซ์

$\Omega < \Omega_{in}$ หมายความว่า ขนาดของดาวเต็มผิวโรชซ์ (Roche Surface)

ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนชนิด (Mode) ของดาว กล่าวคือ กรณี

Mode 2 (Detached mode) แสดงว่าดาวทั้งสองดวงมี $\Omega > \Omega_{in}$ ดังนั้นสามารถปรับค่า

ศักย์โน้มถ่วงที่ผิวของดาวทั้งสองดวงได้ (Ω_1, Ω_2) โดยการ KEEP = 0 ทั้ง Ω_1 และ Ω_2

ซึ่งจะทำให้พารามิเตอร์ปรับ ค่าได้

Mode 3 (Contact mode) ดาวทั้งสองดวงมีมวลเต็มผิวโรชซ์ แต่อุณหภูมิพื้นผิวสามารถปรับค่าได้ กรณีนี้ให้ KEEP = 0 สำหรับ Ω_1 (ดาวปฐมภูมิ) และ KEEP = 1 สำหรับ Ω_2

Mode 4 (Semi - detached mode) ดาวปฐมภูมิมิมวลเต็มผิวโรชซ์แต่ดาวทุติยภูมิยังไม่เต็ม ให้ KEEP = 1 สำหรับ Ω_1 และ KEEP = 0 สำหรับ Ω_2 ดังนั้นในการรันโปรแกรม แต่ละครั้งต้องพิจารณาก่อนว่าพารามิเตอร์ที่ป้อนเข้าไปมีความสอดคล้องกันหรือไม่กล่าวคือ กรณี $\Omega_1 < \Omega_{in}$ และ $\Omega_2 < \Omega_{in}$ แสดงว่าดาวทุติยภูมิและดาวปฐมภูมิมีมวลเต็มผิวโรชซ์ทั้งคู่ ดังนั้น ชนิดของดาวจึงเป็น mode 3 แต่ถ้าเราใส่ข้อมูลเป็น mode 2 จะทำให้การคำนวณผิดพลาดสูงมาก

1.7 การหาค่าอัตราส่วนมวล ก่อนหน้านี้ ค่าอัตราส่วนมวล (q) ถูก KEEP = 1 ซึ่งปรับค่าไม่ได้ ได้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับค่าอัตราส่วนมวลเท่ากับ 0.5 เลือกเซตพารามิเตอร์ จากเซตคำตอบที่ดีที่สุด ใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น เพื่อหาค่าอัตราส่วนมวลที่ละเอียดขึ้น โดยการให้อัตราส่วนมวลเป็นพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ (KEEP = 0) สำหรับอัตราส่วนมวล (q) ทำให้พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้เพิ่มขึ้น อีก 1 ตัว ทำการรันโปรแกรมใหม่อีกครั้งตามข้อ (1.1) ถึง (1.5) จนกว่าจะได้เซตค่า

ตอบที่ดีที่สุด (Best Solution) ซึ่งจะนำเซตพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในการสร้างข้อมูลกราฟแสงสักระยะในโปรแกรมหลัก LC ต่อไป ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ (4.9)

2. การสร้างข้อมูลกราฟแสงสักระยะโดยใช้โปรแกรมหลัก LC

นำเซตของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่คำนวณได้จากข้อ (1.7) ป้อนลงในโปรแกรมหลัก LC แล้วทำการรันโปรแกรมด้วยคำสั่ง Lc92_<ชื่อไฟล์อินพุต>_ชื่อไฟล์เอาต์พุต เช่น Lc92_<BVO1m3.dat>_BVO1m3 ข้อมูลจากการรันโปรแกรมหลัก LC แสดงในตารางที่ (4.11) นำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างกราฟแสงสักระยะเพื่อใช้เปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกตดังแสดงในรูปที่ (4.1)

3. เปรียบเทียบกราฟแสงจากการสังเกตการณ์กับกราฟแสงสักระยะ

จากข้อมูลที่ได้ตามตารางที่ (4.11) และกราฟแสงสักระยะ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกต ดังแสดงในรูปที่ (4.1) พบว่า กราฟแสงทั้งสองทับกันไม่สนิท ตรงบริเวณ Secondary Eclipse ซึ่งเชื่อว่าอาจจะมีจุดบนผิวดาวของดาวพฤหัสบดีทำให้เกิดปรากฏการณ์ ดังกล่าวก็เป็นได้

4. การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของจุดบนผิวดาว

รันโปรแกรมหลัก DC อีกครั้ง โดยเซตพารามิเตอร์เริ่มต้นที่จะป้อนเป็นข้อมูลเบื้องต้น คือ เซตพารามิเตอร์ที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด จากข้อมูลเมื่ออัตราส่วนมวลปรับค่าได้ ซึ่งเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากอินพุตไฟล์ BV185.dat ตามตารางที่ (4.9) โดยค่าอัตราส่วนมวล คือ 0.47425 ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจร $i = 72.389$ อุณหภูมิของดาวพฤหัสบดี $T_2 = 5526 \text{ K}$ $\Omega_1 = 2.7428$ $L_{IB} = 15.0213$ $L_{IV} = 13.2398$ และชนิดของดาวเป็นระบบดาวคู่แบบติดกัน (mode 3) ใส่พารามิเตอร์เหล่านี้ พร้อมกับเปิดพารามิเตอร์ของจุดซึ่งได้แก่ ละติจูด ลองจิจูด ขนาดรัศมีเชิงมุม และอุณหภูมิของจุด โดยเริ่มต้นกำหนดให้ค่าละติจูดของจุดคงที่เท่ากับ 90 องศา และ $KEEP = 0$ สำหรับพารามิเตอร์ ลองจิจูด (Longitude) ขนาดรัศมีเชิงมุม (Angular radius) และอุณหภูมิของจุด (spot Temperature Factor) โดยกำหนดให้มีจุดบนผิวดาวพฤหัสบดีเพียง 1 จุด รันโปรแกรมหลัก DC เพื่อหาเซตพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดกรณีมีจุดบนผิวดาว ข้อมูลจากการคำนวณแสดงในตารางที่ (4.10) ผลลัพธ์จากการรันโปรแกรมหลัก DC เลือกเซตคำตอบที่ดีที่สุด ดังนี้

พารามิเตอร์ของจุดบนดาวพฤหัสบดี สำหรับดาวคู่ บีวี อิริคานี คือ

- ค่า ละติจูด (Latitude) = 90.00 องศา
- ค่า ลองจิจูด (Longitude) = 12.00 องศา
- ค่ารัศมีเชิงมุม (Angular radius) = 124 .00 องศา
- ค่าอุณหภูมิของจุด (Spot Temperature Factor) = 1.102

และพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้ผลดังต่อไปนี้

- ระบบดาวคู่บีวี อิริคานี เป็นระบบดาวคู่แบบติดกัน (mode 3)
- ค่ามุมเอียงของระนาบการโคจร (inclination, i) เท่ากับ 71.133
- ค่าศักย์พื้นผิวของดาวทั้งสองดวงเท่ากันคือ $\Omega_1 = \Omega_2 = 2.8359$
- อัตราส่วนมวล (q) = 0.49727
- ค่ากำลังส่องสว่าง $L_{1B} = 13.9059$, $L_{2B} = 2.1862$
 $L_{1V} = 12.2886$, $L_{2V} = 2.4948$

นำข้อมูลเหล่านี้เป็นเซตพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับสร้างข้อมูลกราฟแสงโดยโปรแกรมหลัก LC ผลการรันโปรแกรมได้ข้อมูลกราฟแสงดังแสดงในตารางที่ (4.12) ข้อมูลจากตารางที่ (4.12) สร้างกราฟแสงสังเคราะห์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกราฟแสงจากการสังเกตการณ์ ดังแสดงในรูปที่ (4.2) ซึ่งพบว่ากราฟแสงทั้งสองมีความสอดคล้องกันมากยิ่งขึ้น หลังจากใส่จุดลงบน ผิวดาวทุติยภูมิ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพเมื่อ $q = 0.2$ $\Omega_{in} = 2.232727744$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.518	0.7502	2.4000	2.4000	0.8981	0.8821	26.4056	0.033360
3	78.598	0.6151	2.2327	2.2327	16.1814	14.3905	0.209159	0.015665
3	79.972	0.6827	2.137	2.137	16.6037	14.6532	0.610062	0.012924
3	80.926	0.5905	2.219	2.219	16.7089	14.7148	0.033748	0.00772
3	<u>76.421</u>	0.5678	<u>2.0984</u>	<u>2.0984</u>	16.4437	14.6358	0.085125	0.009550
3	<u>76.515</u>	0.5659	2.1116	2.1116	16.4777	<u>14.6991</u>	0.014854	0.011524
3	81.307	<u>0.5647</u>	2.1206	2.1206	<u>16.6792</u>	<u>14.8651</u>	0.013139	0.011109
3	75.187	0.5678	2.0941	2.0941	16.4041	14.6162	0.078387	0.008965
3	75.838	0.5422	2.1082	2.1082	16.7962	14.9642	0.017123	0.010562
3	83.539	0.5684	2.1381	2.1381	16.7768	14.9524	0.016903	0.013624
3	79.202	0.5683	2.1063	2.1063	16.5378	<u>14.7445</u>	0.012192	0.012007
3	<u>79.237</u>	<u>0.5661</u>	<u>2.1086</u>	<u>2.1086</u>	<u>16.5353</u>	<u>14.7359</u>	0.011977	0.01166
3	<u>79.764</u>	<u>0.5663</u>	2.1109	2.1109	<u>16.5526</u>	<u>14.7521</u>	0.012201	0.012055
3	78.374	0.5654	2.1055	2.1055	<u>16.5084</u>	14.7119	0.011948	0.011821
3	76.019	0.5658	2.1447	2.1447	16.3928	14.6073	0.021120	0.00998

*หมายเหตุ ตัวเลขที่ขีดเส้นใต้ แสดงว่ามีค่า Parameter Corrections ต่ำกว่า ค่า Probable Errors

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์เมื่อ $q = 0.3$ $\Omega_{in} = 2.466229153$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	2.500	2.5000	16.000	14.0000	0.262333	0.0097018
4	80.975	0.5608	2.4600	2.4854	16.3812	14.5981	0.0249727	0.0117815
4	81.348	0.5689	2.4662	2.4696	15.8974	14.1709	0.0114787	0.0113484
3	81.391	0.5684	2.4591	2.4591	15.8726	14.1422	0.0109693	0.0103396
3	79.087	0.5646	2.4424	2.4424	15.9047	14.1667	0.0105284	0.0080985
3	77.611	0.5646	2.4069	2.4069	15.8459	14.1006	0.0081469	0.0097556
3	76.417	0.5611	2.3853	2.3853	15.8661	14.0983	0.0076369	0.0075436
3	76.284	0.5591	2.396	2.3796	15.9035	14.1298	0.0074748	0.0074611
3	76.201	0.5587	2.3739	2.3769	15.9114	14.1350	0.0073982	0.0073937
3	76.137	0.5586	2.3753	2.3753	15.9118	14.1345	0.0073590	0.0073492
3	76.028	0.5585	2.328	2.3728	15.9098	14.1314	0.0070420	0.0069081
3	75.638	0.5597	2.3642	2.3642	15.8809	14.1039	0.0086097	0.0056531
3	76.606	0.5596	2.909	2.3909	15.9047	14.1363	0.0078115	0.0050180

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $g = 0.4$ $\Omega_{in} = 2.678095892$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	2.7000	2.7000	16.3408	<u>14.3400</u>	0.1432657	0.0088350
4	77.090	0.5581	2.6781	2.7229	16.1904	14.4136	0.0590686	0.0133979
3	74.240	0.5609	2.6251	2.6251	15.1296	13.3829	0.0099398	0.0068460
3	<u>73.299</u>	0.5587	2.5908	2.5908	15.2797	13.5078	0.0073342	0.0070873
3	73.271	<u>0.5540</u>	2.5856	2.5856	<u>15.3655</u>	<u>13.5738</u>	0.0069266	0.006869*
3	73.113	0.5539	2.5799	2.5749	15.3581	13.5648	0.0085904	0.0045759
3	73.882	0.5692	2.6372	2.6372	15.1965	13.4736	0.017809	0.0077917
3	75.529	0.5593	2.6617	2.6617	15.2710	13.5194	0.0118329	0.0114958
3	74.312	0.5579	2.6139	2.6139	<u>15.3150</u>	<u>13.5481</u>	0.0076802	0.0068355

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $q = 0.5$ $\Omega_{in} = 2.875844632$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	2.9000	2.9000	16.0000	14.0000	0.1942089	0.0088139
4	74.869	0.5529	2.8758	2.8997	15.4710	13.6665	0.0350817	0.0104241
3	72.101	0.5553	2.7595	2.7595	14.4852	12.6924	0.0293674	0.0079108
3	71.388	0.5482	2.7686	2.7686	14.9577	13.1293	0.0079215	0.0059717
3	72.936	0.5604	2.8237	2.8237	14.8311	<u>13.0554</u>	0.0106661	0.0083295
3	72.095	0.5521	2.8049	2.8049	14.8998	<u>13.0915</u>	0.0081781	0.0073859
3	72.558	<u>0.5542</u>	2.8425	2.8425	14.8309	13.0532	0.0097065	0.0080156
3	72.229	0.5524	2.8114	2.8114	14.9007	13.1036	0.0074327	0.0058503
3	71.649	<u>0.5560</u>	2.7817	2.7817	<u>14.8235</u>	<u>13.0319</u>	0.0068052	0.006014*
3	71.155	0.5555	2.7636	2.7636	14.8096	13.0097	0.0084310	0.0078915
3	71.417	0.5476	2.7699	2.799	14.9753	13.1446	0.0079239	0.0019482
3	72.854	0.5597	2.8218	2.8218	14.8377	<u>13.0584</u>	0.0102394	0.0081715

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $q = 0.6$ $\Omega_{in} = 3.063441542$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	3.1000	3.1000	16.0000	14.0000	0.39210.08	0.0090716
4	73.193	0.5519	3.0634	3.1364	15.4244	13.5847	0.0834069	0.0115597
3	71.413	0.5555	2.9717	2.9717	14.1453	12.3532	0.0201573	0.0070738
3	70.352	<u>0.5493</u>	2.9630	2.9630	<u>14.5247</u>	12.6889	0.0071114	0.006979*
3	70.224	0.5486	2.9605	2.9605	14.5295	12.6942	0.0086602	0.0048089
3	70.904	0.5625	3.0117	3.0117	14.2760	12.5098	0.0124684	0.0058948
3	70.326	0.5481	2.9650	2.9650	14.5484	<u>12.7096</u>	0.0073384	0.0082452
3	71.009	0.5520	3.0084	3.0084	<u>14.4767</u>	12.6686	0.0086705	0.0074180
3	70.678	<u>0.5494</u>	2.9809	2.9809	<u>14.4964</u>	12.6695	0.0074688	0.0071307
3	70.369	0.5488	2.9664	2.9664	<u>14.5248</u>	<u>12.6909</u>	0.0077036	0.0069078
3	70.995	<u>0.5516</u>	3.0069	3.0069	<u>14.4855</u>	<u>12.6742</u>	0.0084499	0.0074103

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $q = 0.7$ $\Omega_{in} = 3.24328816$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	3.2500	3.2500	16.0000	14.0000	0.6436964	0.0095128
4	73.433	0.5589	3.2433	3.2692	14.4054	12.5873	0.0261551	0.0099021
3	70.391	0.5553	3.1335	3.1335	13.6768	11.8585	0.0276756	0.0052179
3	71.321	0.5634	3.2057	3.2057	13.8865	12.1124	0.010201	0.0072706
3	70.236	<u>0.5524</u>	3.1732	3.1732	14.0832	<u>12.2439</u>	0.0081429	0.0071155
3	70.373	<u>0.5517</u>	3.2131	3.2131	14.0247	12.2096	0.0097828	0.0076203
3	70.143	0.5516	3.1750	3.1750	<u>14.0839</u>	<u>12.2600</u>	0.0070940	0.0064650
3	69.424	0.5491	3.1552	3.1552	14.1353	12.2922	0.0070968	0.0063455
3	69.677	0.5523	3.1326	3.1326	14.0612	12.2290	0.0085793	0.0079651
3	69.647	0.5154	3.1526	3.1426	14.2247	12.3581	0.0079795	0.0051038
3	70.195	0.629	3.1940	3.1940	<u>13.8621</u>	<u>12.0875</u>	0.013714	0.0071021

ตารางที่ 4. 7 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $q = 0.8$ $\Omega_{in} = 3.416970798$

Mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	3.4200	3.4200	16.0000	14.000	0.961608	0.009689
4	74.868	0.5579	3.4169	3.4629	14.2558	12.4183	0.053693	0.009975
3	69.894	0.5545	3.3136	3.3136	13.3691	11.5378	0.024574	0.004983
3	69.708	<u>0.5624</u>	3.3682	3.3682	<u>13.5146</u>	<u>11.7352</u>	0.140116	0.006669
3	69.557	<u>0.5507</u>	3.456	3.3456	13.7490	11.9047	0.007736	0.006900
3	69.816	<u>0.5523</u>	3.3872	3.3872	13.6639	11.8394	0.009431	0.007121
3	69.632	<u>0.5512</u>	3.509	3.3509	13.7613	11.9177	0.007287	0.005244
3	<u>68.777</u>	<u>0.5508</u>	3.215	3.3215	<u>13.7007</u>	<u>11.8554</u>	0.006920	0.00622*
3	<u>68.781</u>	0.5514	3.3019	3.3019	13.7293	11.8839	0.008292	0.007770
3	68.800	0.5436	3.3089	3.3089	13.9286	12.0389	0.007760	0.004670
3	69.530	0.5625	3.3551	3.3351	13.4793	11.6934	0.010495	0.005408
3	<u>68.853</u>	<u>0.5521</u>	3.336	3.3236	13.6798	11.8319	0.007058	0.006489

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ $q = 0.9$ $\Omega_{in} = 3.585602516$

mode	i	T_2	Ω_1	Ω_2	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	$\Sigma_{predict}$
2	78.598	0.5702	3.5900	3.5900	16.0000	14.0000	1.341856	0.01211
4	72.321	0.5645	3.5856	3.6029	13.4259	11.6292	0.024084	0.009485
3	69.666	0.5539	3.5032	3.5032	13.1119	11.2650	0.020378	0.007148
3	68.660	0.5477	3.4935	3.4935	<u>13.5072</u>	<u>11.6287</u>	0.007057	0.006998
3	68.383	<u>0.456</u>	3.4869	3.4869	<u>13.5611</u>	<u>11.6734</u>	0.006854	0.00671*
3	68.126	0.5449	3.4848	3.4848	13.5729	11.6813	0.007738	0.006077
3	<u>69.143</u>	0.5552	3.5533	3.5533	13.2813	11.4593	0.009562	0.007396
3	69.091	<u>0.5502</u>	3.5161	3.5161	13.4639	11.6038	0.006960	0.005182
3	68.286	0.5450	3.4820	3.4820	13.5799	11.6860	0.007900	0.005288
3	68.691	0.5508	3.5443	3.5443	13.4390	11.5828	0.011547	0.008282
3	70.646	0.5668	3.5838	3.5828	13.0326	11.2654	0.012500	0.008797

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อ ปรับค่าอัตราส่วนมวล (Mode 3)

q	i	T_2	$\Omega_2(=\Omega_2)$	L_{1B}	L_{1V}	Σ_{input}	Σ_{predic}
0.50346	73.203	0.5662	2.8318	14.7304	12.9838	0.012880	0.007838
0.52921	71.953	0.5544	2.8417	14.7693	12.9559	0.007803	0.006670
0.51449	71.687	0.5524	2.8134	14.8360	13.0260	0.007463	0.006639
0.50068	71.987	0.5564	2.7800	14.8788	13.0688	0.007912	0.006730
0.49899	71.990	0.5560	2.7750	14.8788	13.0688	0.008765	0.006887
0.47625	72.450	0.5524	2.7458	14.9918	13.2288	0.007804	0.007404
0.47425	72.411	0.5526	2.7418	14.9988	13.2398	0.007797	0.007462
0.47325	72.399	0.5536	2.7408	15.0088	13.2409	0.0079012	0.007534
0.47225	72.392	0.5537	2.7400	15.0388	13.2554	0.008075	0.007542
0.47123	72.382	0.5537	2.7428	15.0400	13.2398	0.008185	0.007612
0.47425	72.389	0.5526	2.7856	15.0213	13.2398	0.007650	0.007468
0.47384	72.389	0.5526	2.7428	14.9988	13.398	0.007803	0.007499
0.48798	71.827	0.5524	2.7802	14.8168	13.0295	0.009656	0.006296
0.47988	72.650	0.5526	2.7810	14.8978	13.1239	0.003227	0.007737
0.46955	72.769	0.5657	2.7678	14.8131	13.0704	0.011891	0.005219

ตาราง ที่ 4.10 แสดงผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ เมื่อใส่พารามิเตอร์จุด (Spot)

Lat.	Long.	Ang. Rad	T_r	i	T_s	$\Omega_2(=\Omega_s)$	q	L_{in}	L_{iv}	Σ_{input}	$\Sigma_{parallel}$
90.00	261.86	15.52	0.787	72.389	0.5526	2.7428	0.47425	15.0213	13.2398	0.0070879	0.0049442
90.00	178.86	15.00	1.221	70.123	0.6137	2.7850	0.46223	13.6843	12.2384	0.104469	0.0030808
90.00	018.00	119.00	1.105	71.174	0.5509	2.8477	0.50456	13.8985	12.2805	0.0054222	0.0030577
90.00	014.00	118.00	1.106	71.103	0.5789	2.8555	0.50852	13.8655	12.2595	0.0044103	0.0030592
90.00	014.00	118.11	1.106	71.103	0.5489	2.8555	0.50852	13.8700	12.2555	0.0044225	0.0030591
90.00	014.00	125.00	1.140	70.682	0.5469	2.8309	0.49807	13.8359	12.2355	0.0031895	0.0030094
90.00	011.00	127.00	1.112	71.013	0.5485	2.8359	0.49727	13.9059	12.2886	0.0043388	0.0030908
90.00	012.00	124.00	1.102	71.133	0.5485	2.8359	0.49727	13.9059	12.2866	0.0037586	0.0030993
90.00	012.00	124.00	1.102	71.049	0.5485	2.8359	0.49727	13.9048	12.3016	0.0038762	0.0030923
90.00	012.00	034.00	1.102	71.393	0.5463	2.8171	0.50918	14.8112	13.0184	0.0055860	0.0035439
90.00	013.00	122.00	1.102	70.842	0.5521	2.8303	0.49849	13.8987	12.2922	0.0081847	0.0029739
90.00	014.00	125.00	1.140	70.739	0.5520	2.8988	0.53125	13.7105	12.1119	0.0074631	0.0030977

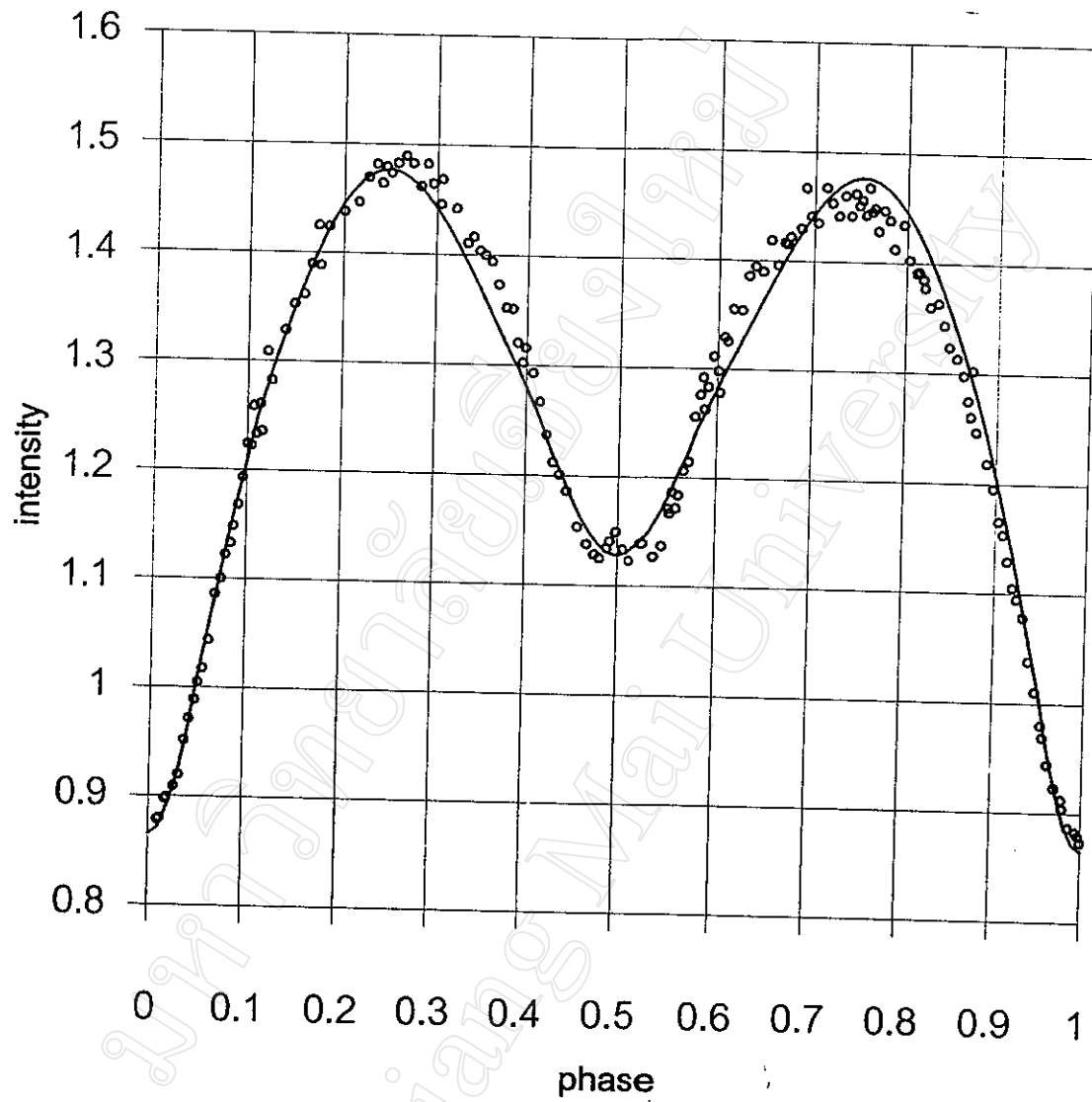
ตารางที่ 4.11a ข้อมูลกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินเมื่อไม่มีจุด

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0	0.702475	0.161518	0.863993
0.01	0.708781	0.161658	0.870439
0.02	0.730381	0.162053	0.892435
0.03	0.757522	0.16274	0.920262
0.04	0.796919	0.163694	0.960613
0.05	0.844765	0.164916	1.00968
0.06	0.884497	0.166394	1.050891
0.07	0.924035	0.16811	1.092145
0.08	0.961897	0.170586	1.132483
0.09	0.99631	0.173239	1.169549
0.1	1.029634	0.176198	1.205831
0.11	1.063636	0.179582	1.243218
0.12	1.089325	0.183108	1.272433
0.13	1.113814	0.186866	1.300681
0.14	1.135698	0.190754	1.326452
0.15	1.156307	0.194612	1.350919
0.16	1.175306	0.198483	1.373789
0.17	1.192482	0.202279	1.394761
0.18	1.208201	0.20594	1.414141
0.19	1.221589	0.209336	1.430925
0.2	1.23268	0.212432	1.445112
0.21	1.241495	0.215186	1.45668
0.22	1.248029	0.217596	1.465625
0.23	1.252274	0.219614	1.471888
0.24	1.254251	0.221151	1.475402
0.25	1.253913	0.222175	1.476088
0.26	1.251485	0.222628	1.474113
0.27	1.246997	0.222518	1.469515

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.28	1.240738	0.221828	1.462566
0.29	1.232896	0.220604	1.453501
0.3	1.223667	0.218859	1.442527
0.31	1.213258	0.216558	1.429816
0.32	1.201836	0.213704	1.41554
0.33	1.189478	0.2103	1.399778
0.34	1.177111	0.206459	1.38357
0.35	1.16443	0.202223	1.366653
0.36	1.151627	0.197674	1.349301
0.37	1.139711	0.192432	1.332143
0.38	1.128274	0.185717	1.313991
0.39	1.118152	0.180044	1.298196
0.4	1.109716	0.170631	1.280347
0.41	1.101231	0.160309	1.26154
0.42	1.094676	0.147985	1.24266
0.43	1.088812	0.131401	1.220213
0.44	1.083725	0.117965	1.20169
0.45	1.079423	0.101709	1.181133
0.46	1.075815	0.086957	1.162772
0.47	1.073021	0.074949	1.14797
0.48	1.071112	0.065588	1.1367
0.49	1.069877	0.059616	1.129493
0.5	1.069461	0.057691	1.127152
0.51	1.069877	0.059737	1.129614
0.52	1.071112	0.065533	1.136645
0.53	1.07302	0.074889	1.147909
0.54	1.075814	0.087085	1.162899
0.55	1.079422	0.101391	1.180814

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.56	1.083724	0.11796	1.201685
0.57	1.088811	0.131425	1.220236
0.58	1.094674	0.149201	1.243875
0.59	1.10123	0.160309	1.261539
0.6	1.109715	0.170628	1.280343
0.61	1.11815	0.180025	1.298176
0.62	1.128272	0.186447	1.314719
0.63	1.139709	0.19275	1.332459
0.64	1.151625	0.197673	1.349298
0.65	1.164428	0.202223	1.36665
0.66	1.177109	0.206458	1.383567
0.67	1.189476	0.2103	1.399775
0.68	1.201835	0.213703	1.415538
0.69	1.213256	0.216558	1.429814
0.7	1.223665	0.218859	1.442524
0.71	1.232895	0.220604	1.453499
0.72	1.240737	0.221828	1.462565
0.73	1.246997	0.222518	1.469514
0.74	1.251484	0.222628	1.474113
0.75	1.253913	0.222175	1.476087
0.76	1.254251	0.221152	1.475402
0.77	1.252275	0.219614	1.471888
0.78	1.24803	0.217596	1.465626

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.79	1.241496	0.215186	1.456682
0.8	1.232682	0.212433	1.445115
0.81	1.221591	0.209337	1.430928
0.82	1.208204	0.20594	1.414145
0.83	1.192485	0.20228	1.394765
0.84	1.175309	0.198483	1.373793
0.85	1.156311	0.194613	1.350923
0.86	1.135629	0.190755	1.326383
0.87	1.113346	0.186867	1.300213
0.88	1.089241	0.183109	1.27235
0.89	1.062254	0.179582	1.241836
0.9	1.02963	0.176198	1.205828
0.91	0.996338	0.17324	1.169578
0.92	0.962142	0.170586	1.132728
0.93	0.92418	0.16811	1.09229
0.94	0.884339	0.166394	1.050733
0.95	0.845419	0.164916	1.010335
0.96	0.796662	0.163694	0.960356
0.97	0.757999	0.16274	0.920739
0.98	0.727248	0.162054	0.889302
0.99	0.709004	0.161658	0.870662
1	0.702475	0.161518	0.863993



รูปที่ 4.1a แสดงกราฟแสงจากการสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น สีน้ำเงิน เมื่อไม่มีจุด

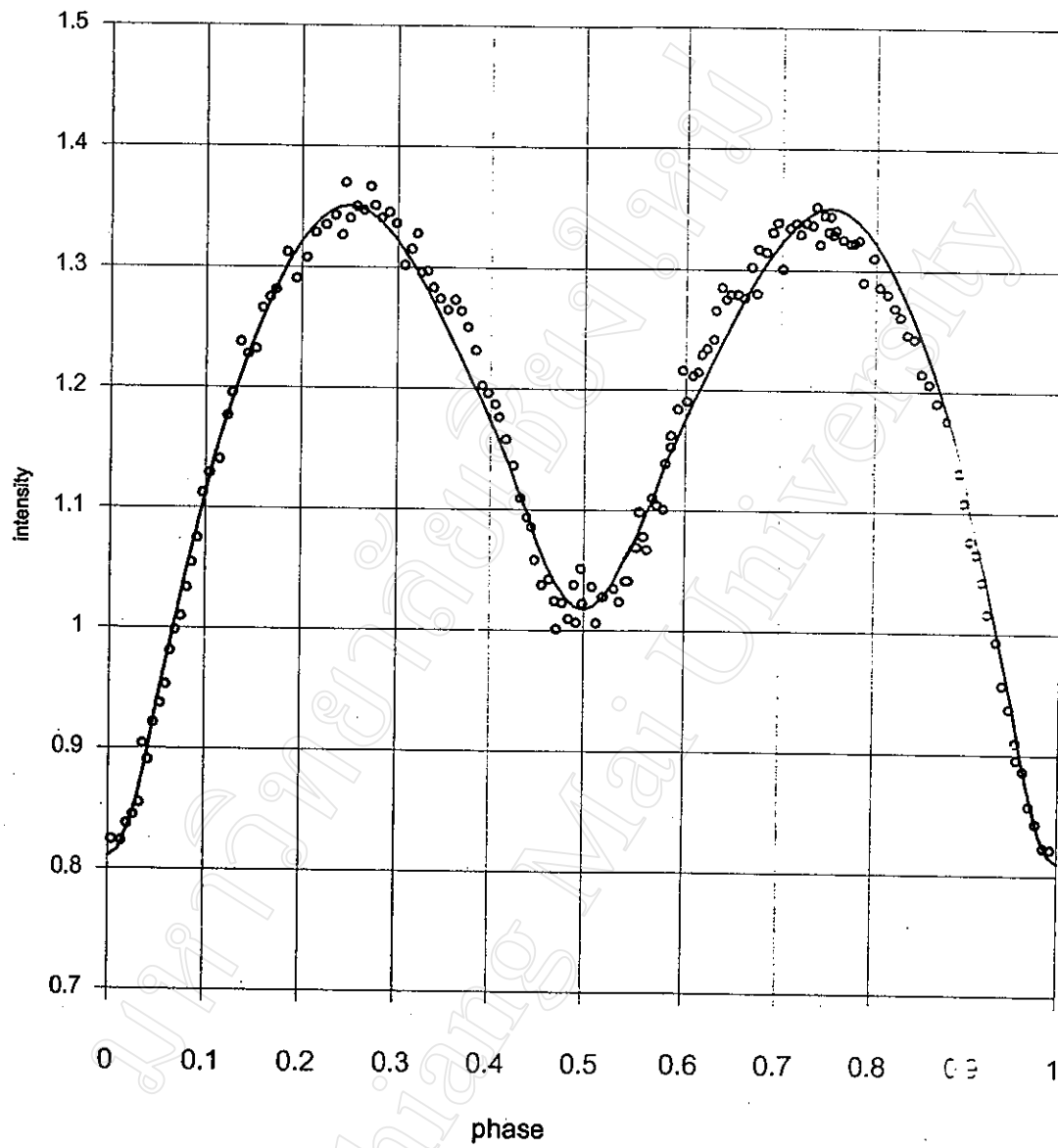
ตารางที่ 4.11b ข้อมูลกราฟแสงสว่างเคราะห์ในช่วงความยาวแสงสีเหลืองเมื่อไม่มีจุด

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0	0.62383	0.185678	0.809507
0.01	0.629325	0.185822	0.815147
0.02	0.648273	0.186219	0.834492
0.03	0.671928	0.18692	0.858848
0.04	0.706459	0.187891	0.894349
0.05	0.748573	0.189137	0.937711
0.06	0.78324	0.190643	0.973883
0.07	0.817745	0.192386	1.010131
0.08	0.850727	0.195036	1.045763
0.09	0.880492	0.197848	1.078339
0.1	0.909345	0.200987	1.110332
0.11	0.939058	0.204595	1.143653
0.12	0.960846	0.208299	1.169145
0.13	0.981658	0.212232	1.19389
0.14	1.00006	0.216272	1.216332
0.15	1.017444	0.220226	1.23767
0.16	1.033531	0.224165	1.257696
0.17	1.048143	0.227994	1.276137
0.18	1.06169	0.231651	1.29334
0.19	1.073301	0.234987	1.308288
0.2	1.083036	0.237976	1.321012
0.21	1.090909	0.240578	1.331487
0.22	1.096909	0.24281	1.339719
0.23	1.101032	0.244624	1.345656
0.24	1.103279	0.24592	1.3492
0.25	1.103571	0.246667	1.350238
0.26	1.1021	0.246805	1.348905
0.27	1.098858	0.246351	1.345209

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.28	1.094103	0.245292	1.339395
0.29	1.087984	0.243692	1.331676
0.3	1.080642	0.241566	1.322208
0.31	1.072233	0.23887	1.311103
0.32	1.062881	0.235606	1.298486
0.33	1.052604	0.231774	1.284379
0.34	1.042309	0.227509	1.269818
0.35	1.031628	0.222859	1.254487
0.36	1.020721	0.217913	1.238634
0.37	1.010586	0.212169	1.222755
0.38	1.000795	0.20471	1.205505
0.39	0.992204	0.198606	1.19081
0.4	0.98525	0.188145	1.173396
0.41	0.978102	0.176735	1.154837
0.42	0.97279	0.163218	1.136009
0.43	0.968039	0.145052	1.113091
0.44	0.963932	0.130394	1.094326
0.45	0.960468	0.112684	1.073152
0.46	0.957552	0.0966	1.054152
0.47	0.9553	0.0835	1.0388
0.48	0.953783	0.07323	1.027013
0.49	0.952783	0.066678	1.019461
0.5	0.952445	0.064567	1.017012
0.51	0.952783	0.066813	1.019596
0.52	0.953783	0.073174	1.026957
0.53	0.9553	0.083428	1.038727
0.54	0.957551	0.096741	1.054293
0.55	0.960467	0.112336	1.072803

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.56	0.963932	0.130389	1.094321
0.57	0.968038	0.145077	1.113115
0.58	0.972789	0.164562	1.137351
0.59	0.978101	0.176736	1.154837
0.6	0.985249	0.188142	1.173391
0.61	0.992203	0.198584	1.190787
0.62	1.000793	0.205607	1.2064
0.63	1.010584	0.212578	1.223161
0.64	1.020719	0.217912	1.238631
0.65	1.031626	0.222858	1.254484
0.66	1.042307	0.227509	1.269816
0.67	1.052602	0.231774	1.284376
0.68	1.062879	0.235605	1.298484
0.69	1.072231	0.238869	1.311101
0.7	1.080641	0.241566	1.322206
0.71	1.087983	0.243691	1.331674
0.72	1.094102	0.245292	1.339394
0.73	1.098857	0.246351	1.345208
0.74	1.102099	0.246805	1.348904
0.75	1.103571	0.246667	1.350238
0.76	1.10328	0.24592	1.3492
0.77	1.101033	0.244624	1.345657
0.78	1.09691	0.242811	1.339721

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.79	1.09091	0.240578	1.331488
0.8	1.083038	0.237976	1.321014
0.81	1.073303	0.234988	1.308291
0.82	1.061692	0.231651	1.293343
0.83	1.048146	0.227994	1.27614
0.84	1.033533	0.224166	1.257699
0.85	1.017447	0.220227	1.237673
0.86	0.999986	0.216273	1.216259
0.87	0.981167	0.212233	1.1934
0.88	0.960761	0.2083	1.16906
0.89	0.937719	0.204595	1.142315
0.9	0.909341	0.200988	1.110328
0.91	0.880518	0.197848	1.078366
0.92	0.850955	0.195037	1.045992
0.93	0.817878	0.192386	1.010265
0.94	0.783098	0.190643	0.973741
0.95	0.749169	0.189137	0.938307
0.96	0.706226	0.187891	0.894117
0.97	0.672358	0.186921	0.859279
0.98	0.645451	0.186219	0.83167
0.99	0.629525	0.185822	0.815347
1	0.623829	0.185678	0.809507



รูปที่ 4.2b แสดงกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น สีเหลือง เมื่อไม่มีจุด

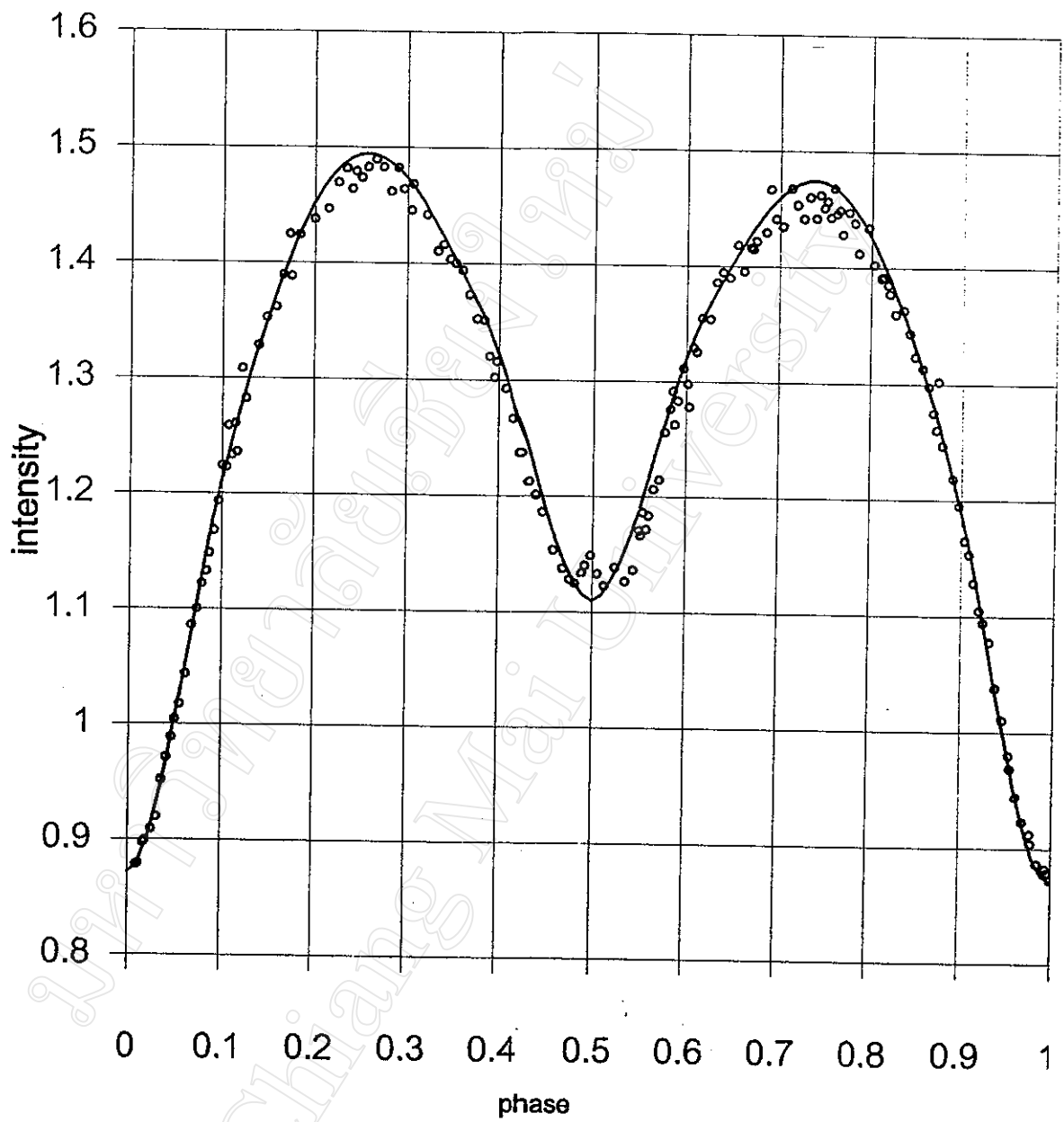
ตารางที่ 4.12a แสดงข้อมูลกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน เมื่อมีจุด

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0	0.687935	0.182783	0.870718
0.01	0.693415	0.18457	0.877985
0.02	0.710267	0.186974	0.897241
0.03	0.735411	0.190122	0.925533
0.04	0.767633	0.193812	0.961445
0.05	0.805661	0.198031	1.003693
0.06	0.842209	0.202824	1.045033
0.07	0.880788	0.208002	1.088789
0.08	0.92101	0.213769	1.134779
0.09	0.956445	0.219897	1.176342
0.1	0.984357	0.226926	1.211284
0.11	1.008826	0.234104	1.242931
0.12	1.031209	0.241719	1.272927
0.13	1.052484	0.249852	1.302336
0.14	1.069675	0.258374	1.328049
0.15	1.085197	0.266927	1.352124
0.16	1.09985	0.27548	1.37533
0.17	1.112837	0.284058	1.396895
0.18	1.124518	0.292516	1.417033
0.19	1.134751	0.300621	1.435372
0.2	1.142857	0.308276	1.451133
0.21	1.149068	0.31545	1.464518
0.22	1.153372	0.322034	1.475407
0.23	1.155829	0.328018	1.483847
0.24	1.156412	0.333294	1.489706

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.25	1.155244	0.337761	1.493005
0.26	1.152269	0.341341	1.49361
0.27	1.147774	0.344011	1.491784
0.28	1.141841	0.345779	1.48762
0.29	1.134688	0.346675	1.481363
0.3	1.126448	0.346638	1.473085
0.31	1.117294	0.345679	1.462972
0.32	1.107173	0.343761	1.450934
0.33	1.096858	0.340915	1.437773
0.34	1.086516	0.337343	1.423859
0.35	1.075824	0.333169	1.408994
0.36	1.065528	0.327835	1.393363
0.37	1.056078	0.321773	1.377851
0.38	1.047285	0.314598	1.361883
0.39	1.039134	0.30406	1.343194
0.4	1.03211	0.289972	1.322082
0.41	1.025913	0.272313	1.298226
0.42	1.020136	0.249524	1.26966
0.43	1.015148	0.228797	1.243945
0.44	1.010707	0.203247	1.213954
0.45	1.007026	0.179566	1.186592
0.46	1.003923	0.158423	1.162346
0.47	1.001469	0.140485	1.141954
0.48	0.999802	0.124954	1.124756
0.49	0.998785	0.115585	1.114371

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.5	0.99837	0.11096	1.109329
0.51	0.998785	0.11522	1.114005
0.52	0.999802	0.126406	1.126208
0.53	1.001468	0.140638	1.142106
0.54	1.003922	0.158557	1.16248
0.55	1.007026	0.17937	1.186395
0.56	1.010706	0.203083	1.213789
0.57	1.015147	0.228245	1.243392
0.58	1.020135	0.248693	1.268828
0.59	1.025912	0.270733	1.296645
0.6	1.032109	0.287866	1.319975
0.61	1.039132	0.301208	1.340341
0.62	1.047284	0.310719	1.358003
0.63	1.056077	0.316902	1.372979
0.64	1.065526	0.32225	1.387776
0.65	1.075822	0.325905	1.401727
0.66	1.086514	0.328785	1.4153
0.67	1.096856	0.331002	1.427858
0.68	1.107171	0.332432	1.439602
0.69	1.117292	0.332911	1.450203
0.7	1.126446	0.332426	1.458872
0.71	1.134687	0.331029	1.465716
0.72	1.14184	0.328708	1.470548
0.73	1.147773	0.32555	1.473323
0.74	1.152269	0.321551	1.473819
0.75	1.155243	0.316714	1.471957

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)b
0.76	1.156412	0.311077	1.467489
0.77	1.15583	0.304732	1.460562
0.78	1.153373	0.29779	1.451163
0.79	1.149068	0.290379	1.439447
0.8	1.142859	0.282531	1.425389
0.81	1.134752	0.274351	1.409103
0.82	1.12452	0.265874	1.390394
0.83	1.112839	0.257206	1.370045
0.84	1.099852	0.248608	1.348459
0.85	1.085199	0.240223	1.325422
0.86	1.069302	0.232009	1.301311
0.87	1.052459	0.223996	1.276456
0.88	1.031461	0.21662	1.248081
0.89	1.008858	0.209961	1.21882
0.9	0.984397	0.203912	1.188309
0.91	0.956531	0.198268	1.154799
0.92	0.920963	0.193785	1.114748
0.93	0.880796	0.189864	1.07066
0.94	0.841804	0.186797	1.028601
0.95	0.805855	0.184339	0.990194
0.96	0.767113	0.182629	0.949742
0.97	0.735645	0.181611	0.917256
0.98	0.709627	0.181247	0.890874
0.99	0.694122	0.181692	0.875814
1	0.687935	0.182783	0.870718



รูปที่ 4.2a แสดงกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น สีน้ำเงิน เมื่อมีจุด

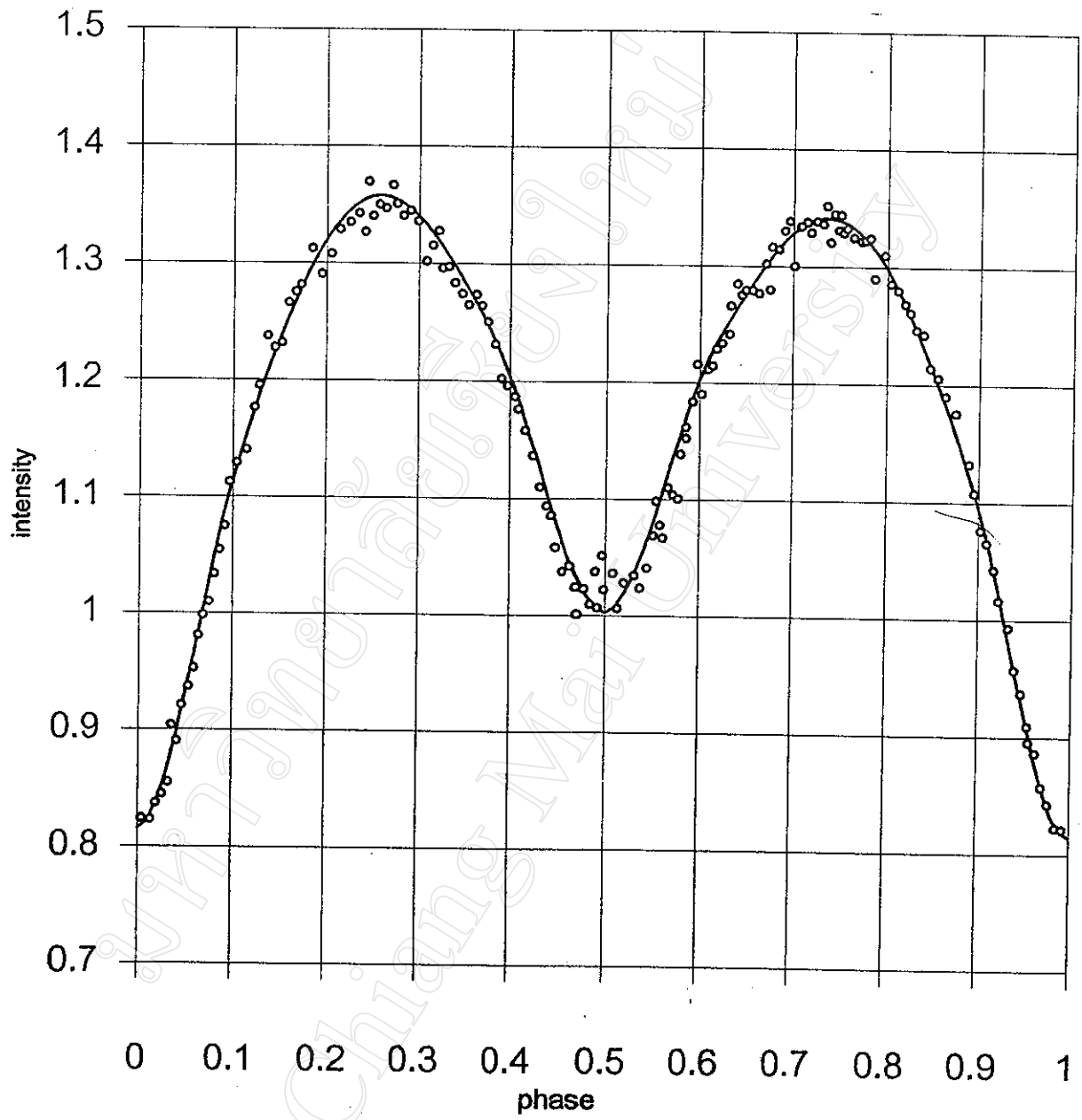
ตารางที่ 4.12b แสดงข้อมูลกราฟแรงดึงเคเบิลในช่วงความยาวคลื่นสี่เหลี่ยม เมื่อมีจุด

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0	0.612332	0.202357	0.81469
0.01	0.617114	0.203853	0.820967
0.02	0.631802	0.205875	0.837678
0.03	0.653684	0.208597	0.862281
0.04	0.681831	0.211784	0.893615
0.05	0.715109	0.215438	0.930547
0.06	0.746992	0.219624	0.966616
0.07	0.780839	0.224126	1.004965
0.08	0.816254	0.229212	1.045466
0.09	0.847329	0.234596	1.081925
0.1	0.871494	0.240934	1.112428
0.11	0.892489	0.247358	1.139847
0.12	0.911589	0.25418	1.165769
0.13	0.929911	0.26152	1.191431
0.14	0.944237	0.269227	1.213464
0.15	0.957082	0.276891	1.233972
0.16	0.969353	0.284502	1.253855
0.17	0.980261	0.292119	1.27238
0.18	0.990215	0.299593	1.289808
0.19	0.999098	0.30668	1.305778
0.2	1.006201	0.313297	1.319498
0.21	1.011767	0.319443	1.331209
0.22	1.015777	0.325013	1.34079
0.23	1.018289	0.330022	1.348311
0.24	1.01925	0.33437	1.35362

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.25	1.018763	0.337959	1.356722
0.26	1.016725	0.340717	1.357442
0.27	1.013401	0.342636	1.356037
0.28	1.008836	0.343739	1.352575
0.29	1.003214	0.344067	1.347281
0.3	0.996615	0.343553	1.340168
0.31	0.989171	0.342218	1.331389
0.32	0.980764	0.340011	1.320775
0.33	0.972171	0.336959	1.30913
0.34	0.963523	0.33329	1.296813
0.35	0.954434	0.329134	1.283567
0.36	0.945655	0.323787	1.269442
0.37	0.937658	0.317815	1.255473
0.38	0.930252	0.310761	1.241013
0.39	0.923391	0.300272	1.223663
0.4	0.917623	0.28629	1.203913
0.41	0.9126	0.268952	1.181552
0.42	0.907882	0.246616	1.154498
0.43	0.903852	0.226438	1.130291
0.44	0.90025	0.20157	1.10182
0.45	0.897293	0.178581	1.075874
0.46	0.894785	0.158006	1.052791
0.47	0.892795	0.140516	1.033311
0.48	0.891468	0.125316	1.016783
0.49	0.890656	0.116157	1.006813

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.5	0.890301	0.111657	1.001958
0.51	0.890656	0.115798	1.006454
0.52	0.891468	0.126698	1.018166
0.53	0.892795	0.140651	1.033446
0.54	0.894785	0.158142	1.052927
0.55	0.897292	0.178385	1.075677
0.56	0.900249	0.201413	1.101663
0.57	0.903851	0.225909	1.12976
0.58	0.907881	0.245837	1.153718
0.59	0.912599	0.26746	1.180059
0.6	0.917622	0.284337	1.201958
0.61	0.92339	0.297663	1.221053
0.62	0.930251	0.30723	1.23748
0.63	0.937657	0.31343	1.251087
0.64	0.945654	0.318951	1.264605
0.65	0.954432	0.322705	1.277137
0.66	0.963522	0.32578	1.289302
0.67	0.97217	0.328325	1.300495
0.68	0.980763	0.33021	1.310973
0.69	0.989169	0.331245	1.320414
0.7	0.996614	0.331412	1.328026
0.71	1.003213	0.330774	1.333987
0.72	1.008835	0.329305	1.33814
0.73	1.013401	0.327095	1.340495
0.74	1.016725	0.324122	1.340847
0.75	1.018763	0.320373	1.339136

Phase	light 1	light 2	(1+2+3)v
0.76	1.01925	0.315865	1.335115
0.77	1.018289	0.31068	1.328969
0.78	1.015778	0.304921	1.320698
0.79	1.011768	0.298705	1.310473
0.8	1.006202	0.29204	1.298242
0.81	0.999099	0.285018	1.284118
0.82	0.990216	0.277647	1.267864
0.83	0.980263	0.270014	1.250276
0.84	0.969355	0.262389	1.231745
0.85	0.957084	0.254921	1.212005
0.86	0.943835	0.247533	1.191368
0.87	0.929885	0.240233	1.170119
0.88	0.911842	0.23351	1.145352
0.89	0.89252	0.227464	1.119984
0.9	0.871532	0.221952	1.093484
0.91	0.847409	0.216745	1.064155
0.92	0.816213	0.212716	1.028929
0.93	0.780849	0.209148	0.989996
0.94	0.746621	0.206391	0.953012
0.95	0.715281	0.20414	0.919421
0.96	0.681362	0.202561	0.883923
0.97	0.653891	0.201584	0.855475
0.98	0.631222	0.201161	0.832383
0.99	0.617752	0.201485	0.819237
1	0.612332	0.202357	0.814689



รูปที่ 4.2b แสดงกราฟแสงสังเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่น สีเหลือง เมื่อมีจุด