บทที่ ๒

อุปกรณ์และวิธีสังเกตุการณ์

๒.๑ กล้องโทรทรรศน์

กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในงานนี้เป็นชนิดหักเหแสง (refractor) ซึ่งมีฐานตั้งแบบอีเควตอเรียล (equatorial mounting) อยู่ในหอสังเกตุการณ์ดวงอาทิตย์ บนดาดฟ้าของตึกฟิสิกส์หลัง ๑ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

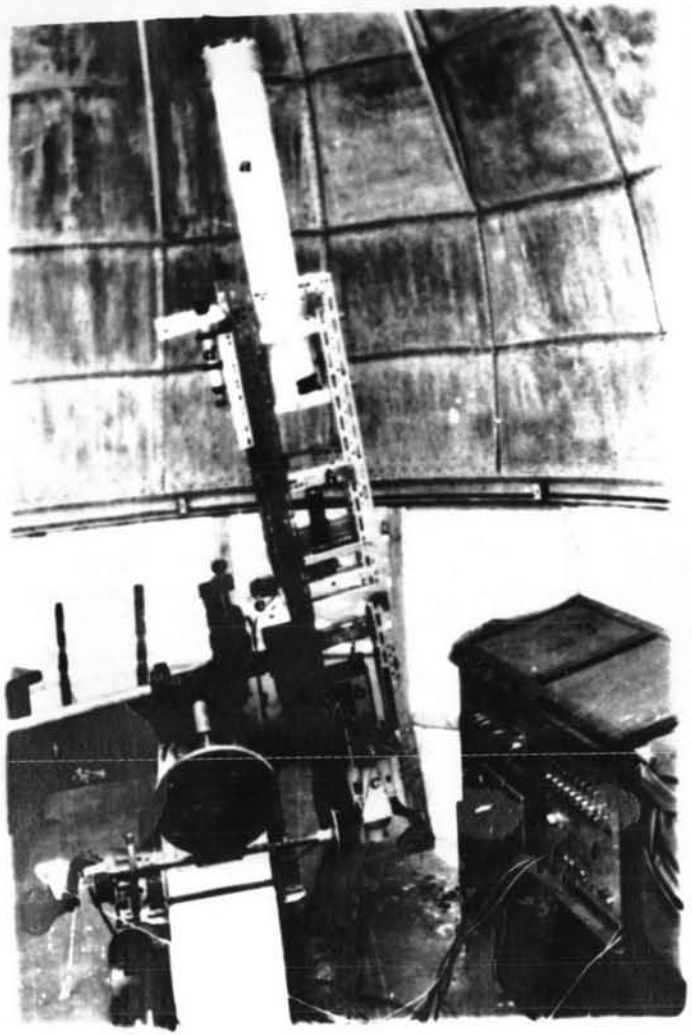
ในการทดลองถ่ายภาพและสังเกตุการณ์ มีการจัดระบบทางเดินของแสงในกล้องโทรทรรศน์เป็น ๒ ชนิด คือ

๒.๑.๑ <u>ระบบขยาย</u> ซึ่งขยายภาพปฐมภูมิที่โฟกัสของออฟเจคทีพเพื่อให้เห็นรายละเอียดได้ชัดขึ้น โดยเพิ่มเลนซ์นูนอีก ๒ อันในระบบทางเดินแสง ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑ ออฟเจคทีพ รับแสงขนานจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดภาพกลับของวัตถุที่ระนาบโฟกัสของมัน จัดเลนซ์ที่ ๒ ห่างจากภาพปฐมภูมิมากกว่าทางยาวโฟคัสของมัน แต่น้อยกว่า ๒ เท่าความยาวโฟคัสของมัน ซึ่งจะทำให้ภาพทุติยภูมิหรือภาพสุดท้ายเกิดบนฟิล์มมีขนาดขยายขึ้น ส่วนเลนซ์ที่ ๓ ติดกับหน้าตัวกรองเพื่อให้เป็นลำแสงขนานเข้าตัวกรอง

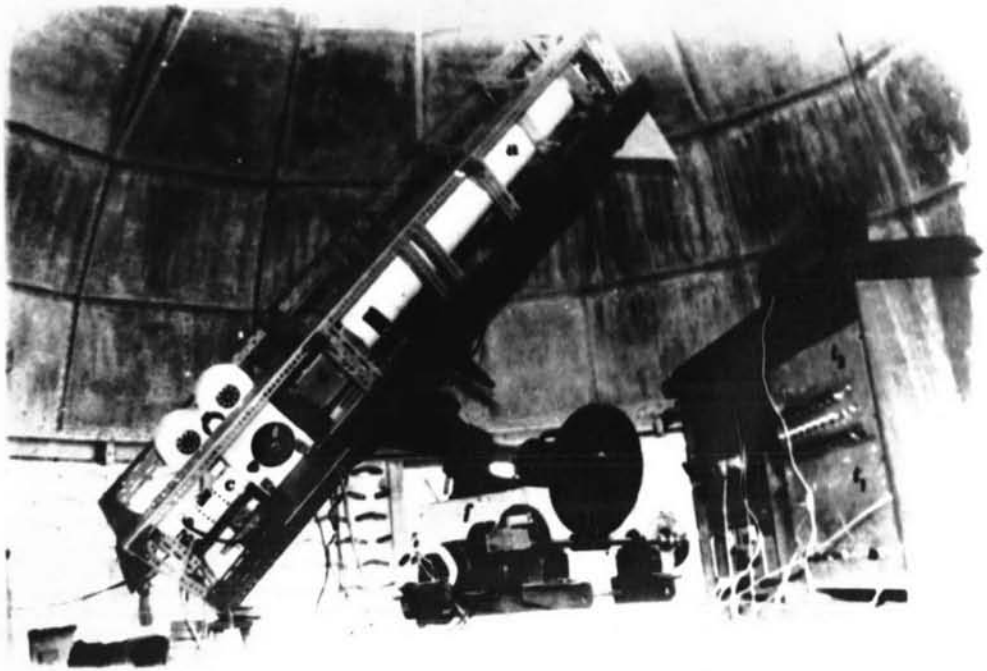
การทดลองสังเกตุการณ์ในระบบนี้แบ่งออกเป็น ๒ ตอน คือ กล้องโทรทรรศน์ที่มีขนาดของออฟเจคทีพ ๑๐๒ ม.ม., ความยาวโฟกัส ๑๕๐๐ ม.ม. ต่อมาระยะหลังเปลี่ยนเป็นกล้องโทรทรรศน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออฟเจคทีพเป็น ๑๕๐ ม.ม, ความยาวโฟกัส ๑๕๐๐ ม.ม. (ดังแสดงในรูป ๒.๑)

๒.๑.๒ <u>ระบบไม่ขยาย</u> การทดลองครั้งนี้ไม่มีเลนซ์อื่นนอกจากออฟเจคทีพและให้แสงผ่านตัวกรองไซซ์ไปปรากฏภาพบนฟิล์มซึ่งจัดให้อยู่ที่จุดโฟคัสของออฟเจคทีพ ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑ จะได้ภาพดวงอาทิตย์เต็มดวงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๔.๕ ม.ม.

เนื่องจากลำแสงที่จะผ่านตัวกรองควรเป็นแสงขนานหรือทำมุมกับแกนแสง (optical axis) ไม่เกินค่าที่กำหนดให้ (ดูหัวข้อ ๒.๒.๒) จึงเปลี่ยนอัตราส่วนโฟคัส (f - ratio) ของออฟเจคทีพ โดยลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเลนซ์จาก ๑๕๐ ม.ม. เป็น ๗๕ ม.ม. โดยปิด



รูป ก



รูป ข

รูปที่ ๒.๑ แสดงการจัดตำแหน่งของอุปกรณ์ ระบบ
รูป ก ระบบขยาย, รูป ข ระบบไม่ขยาย

a= กล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๐๕๐ ม.ม. ความยาวโฟกัส ๐๕๐๐ ม.ม.
b= ตัวกรองไซท์ c= กล้องถ่ายแอคมี่
d= กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กใช้ตามดวงอาทิตย์
e= โฟโตเซล f= ฐานรองรับแบบอิเควตอเรียล
g= เครื่องควบคุมอุณหภูมิของตัวกรองไซท์
h_1, h_2= เครื่องควบคุมการทำงานของโฟโตเซล
i_1= เครื่องควบคุมการทำงานของกล้องถ่ายแอคมี่
i_2 = เครื่องควบคุมการเปลี่ยนมุมขัดเตอร์ของกล้องถ่ายแอคมี่ และเปลี่ยน Hyd ของตัวกรองไซท์
j_1, j_2= เลนซ์ ในระบบขยาย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๕๐ ม.ม. และความยาวโฟกัส ๕๐,๕๐๐ ม.ม. ตามลำดับ

โดยปิดหน้ากล้องด้วยกระดาษขาววงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ม.ม. ตัดกระดาษเป็นวงกลมเล็กตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๗๕ ม.ม. ออกโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกับวงกลมใหญ่ เพื่อให้แสงจากดวงอาทิตย์ผ่านทำมุมกับแกนแสงเล็กลง

๖.๖ การคำนวณขนาดภาพที่ปรากฏบนฟิล์ม

๖.๖.๑ ระบบไม่ขยาย

หากำลังขยายของออฟเจกทีพ คือ หาขนาดของภาพปฐมภูมิของดวงอาทิตย์ที่ระนาบโฟกัสโดยสูตร

$$h = \frac{\theta F}{K}$$

เมื่อ h คือขนาดภาพที่เกิดขึ้นที่ระนาบโฟกัส หรือภาพปฐมภูมิ

θ คือ ขนาดเชิงมุมของดวงอาทิตย์

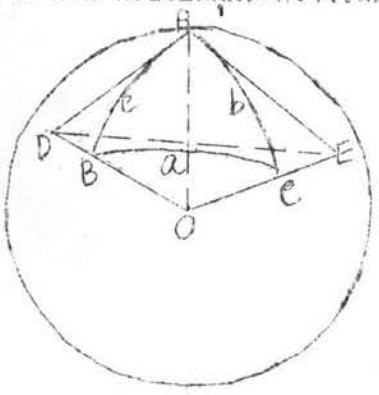
F คือ ความยาวโฟกัสของออฟเจกทีพ = 1500 ม.ม.

K = 57.3 ดีเรเดียน เมื่อ θ วัดเป็นองศา (°)

หาค่า h ได้จากสูตร $h = \frac{\theta F}{K}$ ซึ่งจะได้ค่าประมาณ ๑๓ – ๑๕ ช.ม. ขึ้นอยู่กับค่า θ ที่เปลี่ยนไป (หาค่า θ ได้จากหนังสือ (Astronomical Ephermeris)

๖.๖.๑.๑ การหาขนาดของฟิลาเม้นต์ในระบบไม่ขยายโดยสูตรตรีโกณมิติทรงกลม (Spherical Trigonometry formula)

ในสามเหลี่ยมทรงกลม ABC มี BC = a, CA = b, AB=c, A เป็นมุมทรงกลมที่สัมพันธ์กับ ๓ ด้าน หรือเป็นมุมระหว่างเส้นสัมผัส AD, AE ที่ A ที่ลากสัมผัส AB และ AC



รูปที่ ๖.๖ แสดงความสัมพันธ์ของฟิลาเม้นต์และทรงกลม

ให้รัศมี OB และ OC ของทรงกลมตัดเส้นสัมผัสที่ D และ E คือ DE จะได้ ADE เป็น

สามเหลี่ยมระนาบที่มีมุม DAE เป็น A

$$DE^2 = AD^2 + AE^2 - 2AD.AE\cos A \qquad 2\text{-}1$$

ในทำนองเดียวกัน ODE เป็นสามเหลี่ยมระนาบซึ่งมุม DOE เป็นมุมที่ทำกับส่วนของทรงกลมใหญ่ คือ BC, หรือเรียกว่ามุม a

สำหรับสามเหลี่ยมระนาบ ODE

$$DE^2 = OD^2 + OE^2 - 2OD.OE\cos a \qquad 2\text{-}2$$

$$2OD.DE\cos a = (OD^2 - AD^2) + (OE^2 - AE^2) + 2AD.AE\cos A \qquad 2\text{-}3$$

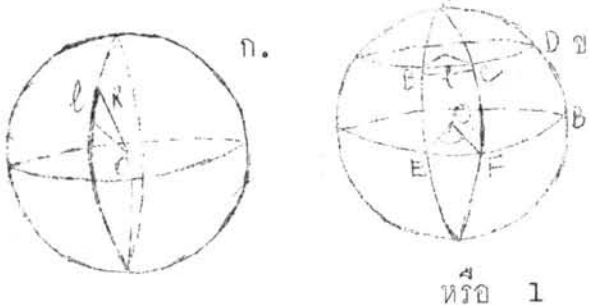
จากสมการ 2-3, $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$ 2-4

จากสูตร ซึ่งเป็นสูตรตรีโกณมิติทรงกลม เราใช้หาความยาวฟิลาเม้นต์ได้โดยอาศัยเส้นแวง (b,c) b ด้าน และความยาวฟิลาเม้นต์ (a) เป็นสามเหลี่ยมทรงกลมใหญ่

แต่สำหรับฟิลาเม้นต์ที่วางตัวไปตามเส้นรุ้ง, เส้นแวง และขนาดกว้างของฟิลาเม้นต์ อาจหาขนาดได้จากสูตรง่าย ๆ ดังนี้

วัดขนาดตามเส้นรุ้ง $l = \frac{R \times \theta\pi}{180}$ 2-5

ถ้าวัดขนาดตามเส้นแวง = BC หรือ $l = EF\cos BE$



รูปที่ ๒.๓ แสดงฟิลาเม้นต์ที่วางตัวไปตาม ก) เส้นแวง ข) เส้นรุ้ง

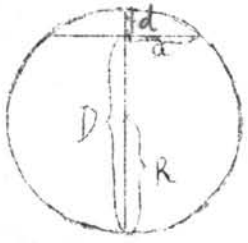
หรือ $l = \frac{R \times \theta \times \pi \times \cos BE}{180}$ 2-6

ฟิลาเม้นต์บางอันอาจต้องวัดไปทีละตอน เพราะการวางตัวของฟิลาเม้นต์มีแตกต่างกันไป บางอันอาจต้องใช้ทั้ง ๓ สูตร (2-4,2-5,2-6) หรือ ๒ สูตร หรือสูตรเดียว แล้วแต่กรณี

๖.๖.๖ ระบบขยาย

ภาพดวงอาทิตย์ในระบบขยายที่ไม่ได้หากำลังขยายไว้ อาจหาได้โดยวิธีเรขาคณิต ดังนี้คือ

เลือกฟิล์มดวงอาทิตย์ที่ถ่ายบริเวณขอบ ระดับโฟโตสเฟียร์ให้ขอบคมเรียบราบ เลือกวัดระยะ 2a บนภาพที่ขยาย ๑๓.๕ เท่าจากไลม์ แบ่งครึ่ง 2a ลาก d ให้ตั้งฉากกับ 2a



รูปที่ ๖.๔ แสดงความสัมพันธ์ของส่วนโค้งและรัศมีวงกลม

จากหลักเรขาคณิตและรูปที่ ๒.๔ $(d)(D) = (a)(a)$

$$d(2R - d) = a^2$$

$$2Rd - d^2 = a^2$$

$$2Rd = a^2 + d^2$$

$$R = \frac{a^2 + d^2}{2d}$$

$$R = \frac{(2a)^2 + 4d^2}{8d}$$

๒.๒.๒.๑ กำลังขยายของออฟเจกทีฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ม.ม.

สำหรับออฟเจกทีฟในระบบขยายที่ไม่ได้วัดกำลังขยายไว้ คำนวณได้จากภาพขอบดวงที่ขยาย ๑๓.๕ เท่าจากฟิล์ม โดยเครื่องขยายภาพของฟิล์มวันที่ ๒๐ ตุลาคม ๒๕๑๕

วัดให้ $2a$ = 28 ซ.ม. d เฉลี่ย = 1.25 ซ.ม.

$$R = \frac{(28)^2 + 4(1.25)^2}{8 \times 1.25}$$

ระบบขยาย; R หรือรัศมีความอาทิตย์ในภาพขยาย ๑๓.๕ เท่าจากฟิล์ม = 79.024 ซ.ม.

ระบบขยาย; รัศมีความอาทิตย์ปรากฏในฟิล์ม = $\frac{79.024}{13.35}$ = 5.86 ซ.ม.

ระบบไม่ขยาย; รัศมีความอาทิตย์ปรากฏในฟิล์ม (ภาพปฐมภูมิ) = 16'05".43 (จากหนังสือ Astronomical Ephermeris)

= .701 ซ.ม. (ดูข้อ ๒.๒.๒)

∴ ระบบขยายของกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ซ.ม. = $\frac{5.86}{7.01 \times 10^{-1}}$ = 8.026 เท่า

≈ 8 เท่า

๒.๒.๒.๒ กำลังขยายในระบบซึ่งใช้ออฟเจกทีฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๒ ม.ม.

สำหรับระบบขยายของเลนซ์ออฟเจกทีฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๒ ม.ม. ได้หากำลังขยายจากการเอามาตราส่วนบนไม้บรรทัดพลาสติกวางไว้ที่จุดโฟกัสของเลนซ์ออฟเจกทีฟซึ่งเป็นภาพปฐมภูมิ จะได้ภาพทุติยภูมิที่ขยายปรากฏบนฟิล์ม ซึ่งวัดกำลังขยายได้โดยตรง ซึ่งได้หากำลังขยายของออฟเจกทีฟในระบบขยายเฉลี่ยได้ ๘.๕ เท่า

หากำลังขยายของกล้องโทรทรรศน์ที่มีออฟเจกทีฟขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๒ ม.ม. โดยวิธี

เรขาคณิต กังนี้คือ

รูปขอบควงอาทิตย์ขยาย ๑๓.๕ เท่าจากฟิล์มโดยเครื่องขยายภาพของวันที่ ๓๑ สิงหาคม ๒๕๑๕

ให้ 2a = 28 ซ.ม. d เฉลี่ย = = 01.30 ซ.ม.

รัศมีของควงอาทิตย์บนภาพขยาย ๑๓.๕ เท่า = 76.03 $\left(R = \frac{(2a)^2 + 4d^2}{8d}\right)$

ระบบขยาย; รัศมีของควงอาทิตย์ที่ปรากฏในฟิล์ม = $\frac{76.03}{13.5}$ = 5.63 ซ.ม.

ระบบไม่ขยาย; รัศมีของควงอาทิตย์ที่ปรากฏในฟิล์ม (first image) = 15' 52".26

= .678 ซ.ม. (จากข้อ ๒.๒.๑)

∴ กำลังขยายของกล้องโทรทรรศน์จากวิธีเรขาคณิต = $\frac{5.63}{.678}$ = 8.29 เท่า

= 8.3 เท่า

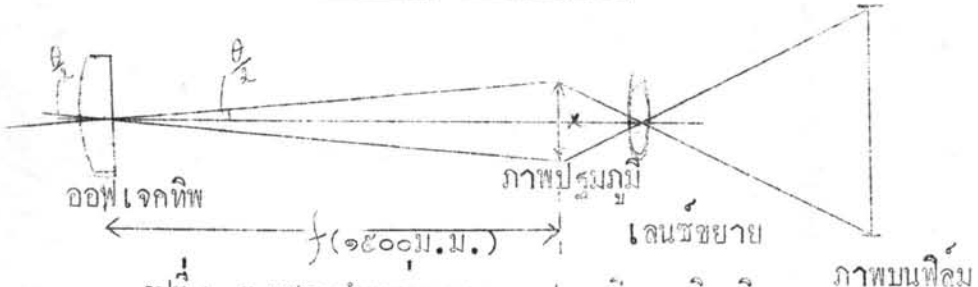
๒.๒.๒.๓ สรุปเรื่องความคลาดเคลื่อนของการหากำลังขยาย ๒ วิธี

ไม่สามารถกำหนดได้ว่า ตัวขีดคูบนมาตราส่วนที่ถ่ายขยายออกมานั้นเป็นรูไหนบนไม้บรรทัดพลาสติก จึงทำให้หากำลังขยายที่แน่นอนไม่ได้ เพราะระยะห่างระหว่างตัวขีดคู่ในภาพขยาย ≈๘.๓ เท่า วัดได้ประมาณ ๐.๘–๐.๙ ซ.ม. ซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ถึง ± ๐.๑ ซ.ม.

แต่โดยวิธีเรขาคณิต ความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากค่า d เป็นระยะที่สั้นและวัดตรงขอบควง ความผิดพลาดในการวัดเกิดจากความไม่ชัดคมของขอบควง ด้วยสาเหตุหลายประการ เช่น ใช้เวลานานเกินไป(overexpose)ในการถ่ายภาพหรืออัดภาพ ทัศนวิสัยไม่ดีพอ และไม่ใช่บริเวณขอบควงในระดับโฟโตสเฟียร์จริงๆ จึงมีความพร่าของขอบควงประมาณ ๐.๑ ซ.ม. ค่า d ใช้กะบริเวณ ในการวัดค่า ประมาณบริเวณขอบควงระหว่างครึ่งความพร่านั้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ = ± ๐.๐๕ ซ.ม. หรือ ๓.๖๕% ในระบบขยายจากภาพปฐมภูมิประมาณ ๘ × ๑๓.๕ = ๑๐๘ เท่า

ในการหาขนาดของพวยกาซ ในตอนนี้สำหรับกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๒ ม.ม. ได้เลือกเอากำลังขยายจากวิธีเรขาคณิต ซึ่งมีความเชื่อถือได้มากกว่า

๒.๒.๒.๔ การหาขนาดของพวยกาซในระบบขยาย



รูปที่ ๒.๕ แสดงตำแหน่งขนาดภาพปฐมภูมิและทุติยภูมิ

หาขนาดของภาพปฐมภูมิของดวงอาทิตย์ที่ระนาบโฟกัส

จากสูตร $h = \frac{\Theta F}{K}$ (จากหัวข้อ ๖.๖.๑)

สำหรับกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๖ ซ.ม.

จากหัวข้อ ๖.๖.๖.๖, เส้นผ่าศูนย์กลางที่ภาพปฐมภูมิ 1.356 ซ.ม.

ภาพทุติยภูมิมีขนาด 8.3 เท่าจากภาพปฐมภูมิ

ภาพที่อัดมีขนาดขยาย 20 เท่าจากภาพบนฟิล์ม (ทุติยภูมิ)

นั่นคือภาพที่อัดมีขนาด = 20 x 8.3 x 1.356 ซ.ม. จากภาพปฐมภูมิ

ภาพปฐมภูมิ 2 x 952" .26 อัดแล้วมีขนาด = 20 x 8.3 x 1.356 ซ.ม.

$\therefore$ 1" = .119 ซ.ม.

$\simeq$.12 ซ.ม.

($\therefore$ 1" ออฟ อาร์ค ที่ระยะทางของดวงอาทิตย์ = 720 ก.ม.

นั่นคือ 1 ซ.ม. = 6000 ก.ม. (ขนาดที่ขยาย 20 เท่าจากฟิล์ม)

= 8.3"

จากหัวข้อ ๖.๖.๖.๑, กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ม.ม. ซึ่งมีขนาดภาพทุติยภูมิมีขนาด ๘ เท่า จากภาพปฐมภูมิ คำนวณ

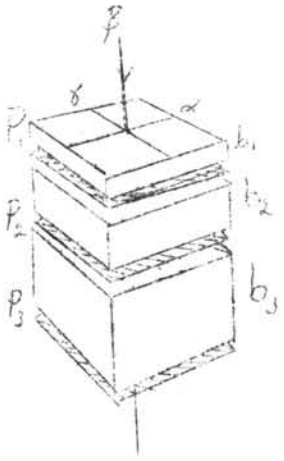
ได้ระยะบนภาพ 1 ซ.ม. = 6207 ก.ม.บนดวงอาทิตย์(หรือ ๘.๖")

๖.๓ ตัวกรองไบร์ฟริน์เจ้นท์

๖.๓.๑ หลักการ

ตัวกรองไบร์ฟริน์เจ้นท์ใช้ส่งผ่านความยาวคลื่นของแสงที่มีความกว้างไม่จำกัด ให้ลดความกว้างแถบเหลือเพียงเศษส่วนของอังสตรอม ตัวกรองที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีความกว้างแถบที่ไฮโดรเจนอัลฟ่าอยู่ระหว่าง ๖๐ ถึง ๐.๕ อังสตรอม ความกว้างแถบไม่เกิน ๑๐ อังสตรอม เหมาะที่จะสำรวจพวยกาซแถบที่แถบกว้านั้น เหมาะที่จะศึกษาการลุกจ้าของดวงอาทิตย์ พลาจและฟิลาเมนต์

ตัวกรองไบร์ฟริน์เจ้นท์มีหลายแบบ ทุก ๆ แบบอาศัยหลักการแหรกสอดของแสงโปลาไรซ์ที่ส่งผ่านชั้นของผลึกตามหลักของแสง



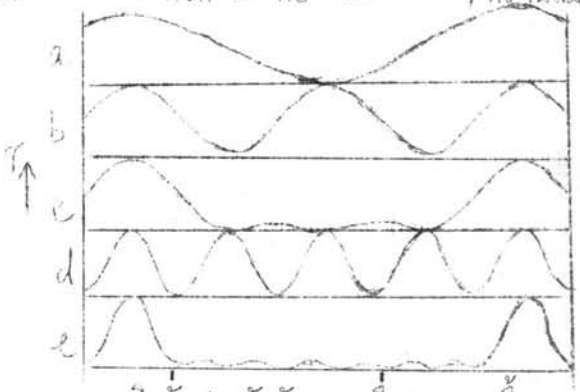
ตัวกรองแบบง่าย ประกอบด้วยผลึกไบรีฟรินเจ้นท์ (b) ขนานกัน และขนานกับโปลาไรเซอร์ (p) ดังแสดงในรูปที่ ๖.๖ b มีผิวตั้งฉากกับแกน β และวางขนานกับแกน α ทิศทางที่แสงส่งผ่านโปลาไรเซอร์ จะเป็นแกนของโปลาไรเซอร์ แสงโปลาไรซ์ผ่านผลึกตามแกน β ทำมุม 45° กับแกน α

รูปที่ ๖.๖ ตัวกรองไบรีฟรินเจ้นท์อย่างง่าย

ถ้าแสงผ่านโปลาไรเซอร์ p ที่แกนขนานกับระนาบการสั่นของแสง จะมีส่วนประกอบ b ส่วนแทรกสอดกันได้ทรานสมิชชั่น $\mathcal{T}$ ของ b , p , คือ $\mathcal{T} = \cos^2 \pi n$, ถ้าเป็นแสงขาว สเปกตรัมที่ออกมาประกอบด้วยส่วนที่มืด และสว่างสลับกันไปที่ n (ความหน่วงสัมพัทธ์) ซึ่งจะเป็นเลขลงตัวหรือกึ่ง สำหรับทรานสมิชชั่นของตัวกรองที่มีผลึกไบรีฟรินเจ้นท์ 1 ตัว คือ

$$\mathcal{T} = \cos^2 \pi n_1 \cos^2 \pi 2n_1 \ldots\ldots \cos^2 \pi 2^{l-1} n_1$$

ความหนาของ b ตัวที่ 1 คือ $n1 = 2^{l-1} n_1$ ทรานสมิชชั่นทั้งหมดมีพลังงานลดลงเป็น 2^{-l}



รูปที่ ๖.๗ กราฟของทรานสมิชชั่นสำหรับตัวกรองซึ่งประกอบขึ้นจากระบบไบรีฟรินเจ้นท์ a) $b_1\ p_1$ b) $b_2\ p_2$ c) $b_1\ p_1\ b_2\ p_2$ d) $b_3\ p_3$ e) $b_1\ p_1\ b_2\ p_2\ b_3\ p_3$

ผลึกไบรีฟรินเจ้นท์ (b) ส่วนมากเป็นควอตซ์, คัลไซต์ มันมีขนาดและดัชนีหักเหเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิ ผลคือเกิดการเลื่อน (shift) ความยาวคลื่น เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนเช่นในควอตซ์มี $\frac{\Delta\lambda}{\Delta T} = -0.66$ อังสตรอม/องศาเซนติเกรด ฉะนั้นอุณหภูมิของตัวกรองต้องควบคุมด้วยความถูกต้องแม่นยำ

๖.๓.๖ <u>ตัวกรองไซซ์โยโครเจนอัลฟา</u>

ตัวกรองไซซ์เป็นตัวกรองไบรีฟรินเจนท์เอกรงค์ที่ให้แถบสเปกตรัมชัดคม ใช้สำหรับงานวิจัย

ดวงอาทิตย์ ในการถ่ายภาพและมองโดยอาศัยหลักของโปลาไรเซชั่น และการแทรกสอดในการทำงานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

การจัดระบบผลึกไบรีฟรินเจนท์ ควอตซ์และคัลไซต์ ระหว่างโปลาไรเซอร์ที่ขนานหรือขวางกัน ทำให้เลือกบริเวณสเปกตรัมแถบที่มีความกว้างของแถบ ๐.๕๐ หรือ ๐.๒๕ อังสตรอมจากสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ การหมุนโปลาไรเซอร์สัมพันธ์กับควอเตอร์–เวฟ เพลท (Quarter-wave plates) รอบแกนแสงทำให้เกิดการเลื่อนพาสแบนด์ของแสงสีเดียวที่ไฮโดรเจนอัลฟา (๖๕๖๓ อังสตรอม) ได้ ± ½ อังสตรอม ส่วนการเลื่อนไป ± ๑๖ อังสตรอม ได้จากการหมุนแผ่นฮาฟ–เวฟ เพลท (half-wave plates) ที่อยู่ระหว่างควอเตอร์–เวฟ เพลท

ลำแสงที่จะผ่านตัวกรองเข้ามา ควรเป็นแสงขนานหรือทำมุมกับแกนแสงอย่างมากที่สุดได้ ± ๑.๖° สำหรับความกว้างแถบ ๐.๒๕ อังสตรอมและไม่เกิน ± ๒.๒๕ สำหรับความกว้าง ๐.๕ อังสตรอม ซึ่งอัตราส่วนโฟกัสของออฟเจกทีฟในระบบไม่ขยายไม่เกิน f/๑๗.๙ และ f/๒๒.๓ ตามลำดับ แต่เนื่องจากกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้สังเกตุการณ์อัตราส่วนโฟกัสเป็น f/๑๐ ซึ่งมากเกินค่าที่ต้องการ จึงต้องลดอัตราส่วนโฟกัสลงโดยลดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางออฟเจกทีฟเป็น ๗๕ ม.ม. จะได้ f/๒๐ ซึ่งเป็นอัตราส่วนโฟกัสที่เหมาะและใช้ได้ทั้งความกว้างแถบ ๐.๒๕ และ ๐.๕ อังสตรอม

ทางที่แสงเข้ามีตัวกรองสอดแทรกหลายชั้นสำหรับความยาวคลื่น–ไฮโดรเจนอัลฟา ในตำแหน่งเหมือนหรือฟิลเตอร์ ซึ่งความแถบเป็น ๖๐ อังสตรอม และการยอมให้ผ่าน (T) เป็น ๘๐% ต่อกับตัวกรองดูดความร้อน ตัวกรองสอดแทรกนี้ลดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ไฮโดรเจนอัลฟาที่ส่งผ่านตัวกรองไซออกมาที่ความกว้างแถบ ๐.๒๕ อังสตรอม มีการยอมให้ผ่านเป็น ๑๐% แต่เมื่อเลือกแถบกว้าง ๐.๕ อังสตรอม มีการยอมให้ผ่านเป็น ๑๒–๑๓% เพราะไม่มีตัวกรองของโปลาไรเซอร์ชั้นสุดท้าย

อุณหภูมิของตัวกรองกำหนดให้คงที่ที่ ๔๕°ซ. แต่มันอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยภายใน ± ๐.๐๓°ซ. อุณหภูมิตัวกรองไม่ขึ้นกับอุณหภูมิข้างนอก ซึ่งอาจมีค่าได้ตั้งแต่ – ๓๐°ซ. ถึง + ๔๕°ซ. ต้องรักษาอุณหภูมิในเครื่องให้คงที่ เพราะความเป็นไบรีฟรินเจนท์ของไบรีฟรินเจนท์ควอตซ์และคัลไซต์ เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่าง ๆ แผ่นไบรีฟรินเจนท์ อยู่ในหีบทรงกระบอกอลูมิเนียม ซึ่งได้รับความร้อนจากขดลวดหลายอัน

๒.๔ กล้องถ่ายภาพยนตร์แอคมี

ภาพได้จากการถ่ายภาพยนตร์ที่มีช่วงเวลาถ่ายหยุดตามต้องการ ซึ่งสามารถทำงานด้วยอัตราเร็วถึง ๒๔ รูปต่อวินาทีและใช้หมุดเป็นตัวส่งผ่านฟิล์มชัตเตอร์ที่ปรับได้ซึ่งเปิดได้กว้างจาก ๑ถึง๑๗๐องศา

ทำงานโดยรับสัญญาณจากโปรแกรมเมอร์ ซองบรรจุฟิล์มขนาด ๓๕ ม.ม. ได้ถึง ๑๐๐๐ ฟุต กระจกสะท้อนแสงใช้มอง ในการโฟกัสเลนซ์และปรับแนวกล้องถ่ายหนัง ขณะหยุดทำการถ่าย มีตัวเลขบอกจำนวนฟิล์มที่ถ่าย และปุ่มสำหรับตั้งตัวเลขใหม่ ฟิล์มเคลื่อนที่ได้ ๒ ทาง โดยมอเตอร์ การเคลื่อน (stop motion motor) โอเปอเรตกล้องถ่ายไปข้างหน้าและข้างหลัง แสดงการติดตั้งกล้องแอกนี่ในรูปที่ ๒.๑

การเคลื่อนหยุดทำงานได้ ๓ ทางคือ

๒.๔.๑ ปุ่มสวิทช์ที่กล้องถ่ายหนังถ่ายหนึ่งครั้ง เมื่อกดสวิทช์หนึ่งครั้ง หรือการถ่ายต่อเนื่องด้วยการกดสวิทช์ค้าง

๒.๔.๒ สวิทช์ถ่ายต่อเนื่อง

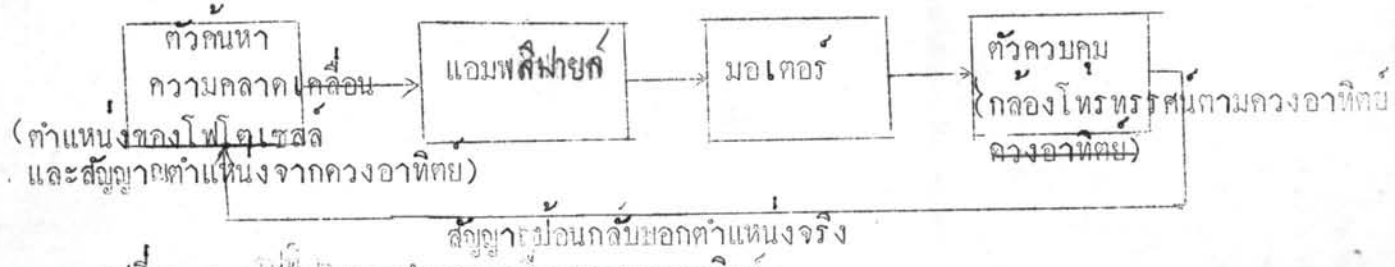
๒.๔.๓ สวิทช์ถ่ายอัตโนมัติที่มีช่วงระยะหยุดถ่าย ๔, ๑๕, ๓๐, ๖๐ วินาที

สวิทช์ทั้งหมดอยู่บนตัวควบคุมกล้องถ่าย ซึ่งทำงานอย่างอัตโนมัติ อัตราเร็วของชัตเตอร์ที่เลือกได้จาก $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4 วินาที/ภาพ

๒.๕ การเคลื่อนที่ตามกวงอาทิตย์ของกล้อง

ในการตามการเคลื่อนที่ของกวงอาทิตย์ ใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ๓๗ ม.ม. ติดกับโครงกล้องโทรทรรศน์ใหญ่และให้ขนานกัน มีให้ภาพกวงอาทิตย์ตกบนฉาก ที่ใช้โฟโตเซลล์รับภาพขอบกวงอาทิตย์ โดยให้โฟโตเซลล์อยู่หลังช่องเล็ก ๒ ช่องที่อยู่ห่างกัน ๑๘๐ องศา และระยะห่างกันเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของภาพกวงอาทิตย์ที่ตกลงบนโฟโตเซลล์

หลักของการทำงานของมันโดยระบบเซอร์โว ๒ เซลล์(ที่จริงเป็น ๒ ชุด ๒ แกน ชุดละ ๒ เซลล์ ขณะทำการทดลองนี้ ๑ ชุด แกนเดียว ๒ เซลล์) เป็นดังนี้



รูปที่ ๒.๔ แผนภาพการทำงานเคลื่อนตามกวงอาทิตย์

เลือกวางตำแหน่งโฟโตเซลล์บนฉากที่จะรับสัญญาณตำแหน่งจากกวงอาทิตย์ตามต้องการได้สัญญาณป้อนกลับเป็นตำแหน่งของกล้องโทรทรรศน์และภาพกวงอาทิตย์ สัญญาณคลาดเคลื่อนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของโฟโตเซลล์และตำแหน่งของภาพกวงอาทิตย์ ตัวโฟโตเซลล์คล้ายเป็นตัวต้านทานที่เปลี่ยนแปลง

ค่าได้ ถ้าแต่ละเซลล์ได้รับจำนวนแสงจากขอบของภาพดวงอาทิตย์เท่ากัน ความต้านทานจะเท่ากัน ไม่มีสัญญาณเข้าแอมพลิฟายร์ เซอร์โวจะสมดุลย์ ถ้าภาพดวงอาทิตย์คลุม เพียงเซลล์เดียว จะมีสัญญาณความคลาดเคลื่อนที่จะทำให้กล้องโทรทรรศน์ขับเคลื่อนเพื่อให้ภาพดวงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งที่โฟโตเซลล์จะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์เท่ากัน

รูปที่ ๒.๔ แสดงการติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กกับโฟโตเซลล์ที่ใช้ตามดวงอาทิตย์

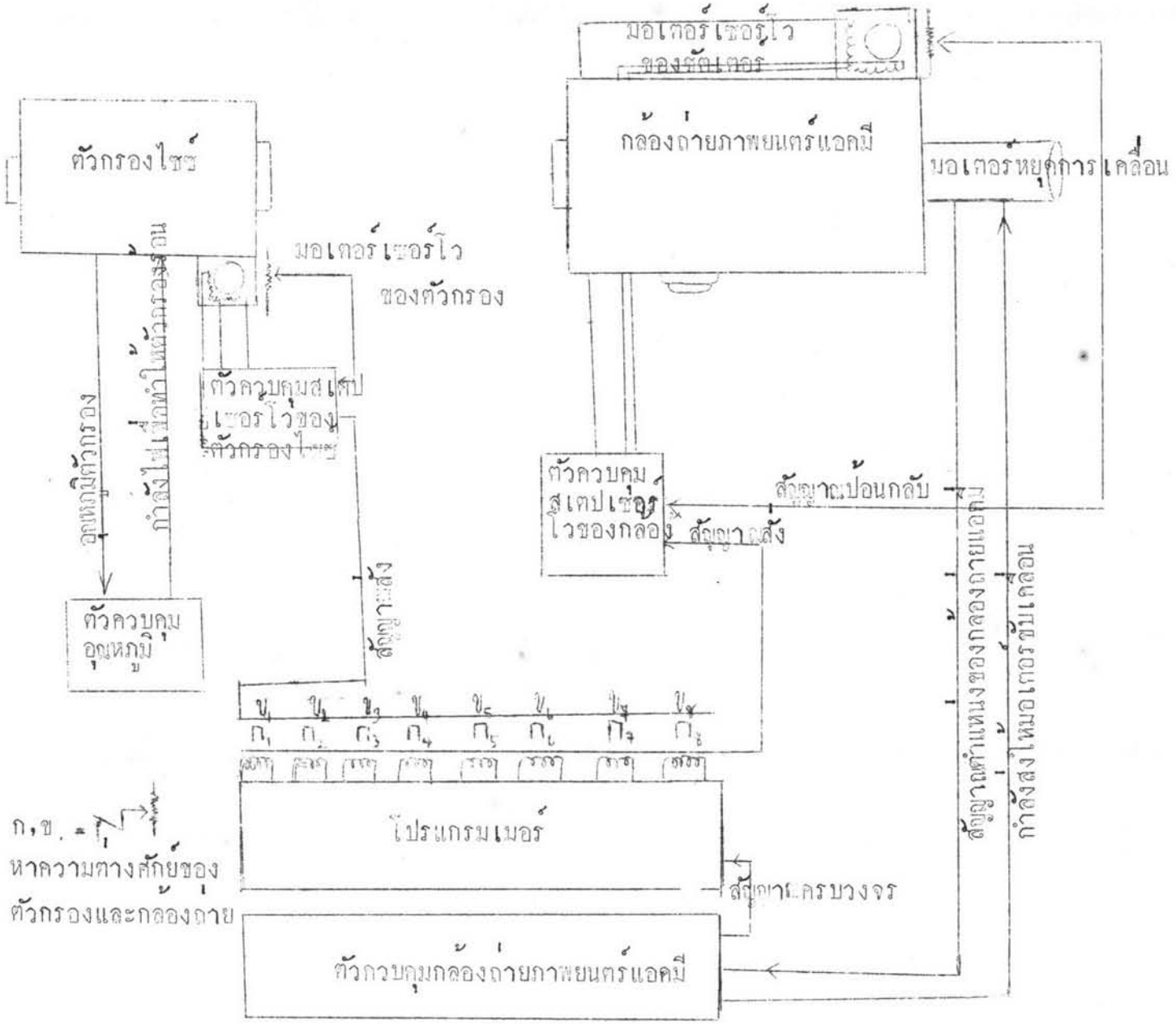
๒.๖ สรุปการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด

เราตั้งอุปกรณ์เรียงตามลำกับดังนี้คือ กล้องโทรทรรศน์ ตัวกรอง และกล้องถ่ายรูปหรือกล้องถ่ายภาพยนตร์บนฐานรองรับ ซึ่งจัดตามระบบอีเควตอเรียล ซึ่งมีเครื่องควบคุมการหมุนตามดวงอาทิตย์อย่างอัตโนมัติ

สำหรับการทดลองตอนแรก วางตัวกรองไซซ์-หลังเลนซ์ที่ ๓ จะได้แสงขนานเข้าตัวกรองไซซ์ ส่วนการทดลองตอนหลังไม่ใช้เลนซ์ที่ ๒ แต่จัดวางตัวกรองไซซ์และกล้องถ่ายโดยให้แผ่นฟิล์มอยู่ที่จุดโฟกัสของออฟเจคทิพ

แสงที่เข้าตัวกรองไซซ์จะถูกโปลาไรซ์โดยโปลาไรเซอร์ แสงที่มีช่วงคลื่นยาวจะเกิดการแทรกสอด (interference) ภายในแผ่นควอตซ์และคัลไซต์ในตัวกรอง ทำให้แถบสเปกตรัมแคบลงเหลือเพียง ๐.๒๕ หรือ ๐.๕๐ อังสตรอม ที่เลือกได้ ตัวกรองไซซ์จะเลือกแสงความยาวช่วงคลื่นเดียว คือ ไฮโดรเจนอัลฟา ($H_{\alpha} \pm 16$ A) แสงช่วงคลื่นสั้นจะผ่านไปเข้ากล้องถ่ายรูปหรือกล้องถ่ายภาพยนตร์แอกมี่ ที่ไม่ต้องใช้ตัวกรองของมันเลย ภาพปรากฏบนฟิล์มหรือตัวมองที่มีกระจกสะท้อนให้เห็นได้

การทำงานอย่างอัตโนมัติของเครื่องควบคุมการถ่ายและสแกนเนอร์ที่ควบคุมการหมุนเฟืองเซคเตอร์ของกล้องถ่าย ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑ เพื่อเปิดชัตเตอร์ขนากกว้างตามต้องการภายใน ๐ – ๑๗๐ และเลื่อนหา $\pm \Delta \lambda$ จากไฮโดรเจนอัลฟาในตัวกรอง มีช่วงที่เลือกแล้วคือ −๒.๐ −๑.๐ −๐.๗๕ −๐.๕ ๐.๐+ ๐.๕ + ๐.๗๕ +๑.๐ อังสตรอม ที่อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการภายในช่วง ±๑๖ อังสตรอม



รูปที่ ๒.๑๐ แสดงการติดต่อเครื่องมือที่ใช้สังเกตุการณ์ดวงอาทิตย์

ส่วนเครื่องควบคุมการถ่ายภาพยนตร์ เว้นช่วงเวลาของกล้องแอกมีเลือกอัตราช่วงเวลาถ่ายทุก ๆ ๕, ๑๕, ๓๐, ๖๐ วินาที/ภาพ หรือการถ่ายต่อเนื่องหรือใช้ปุ่มกดเลือกช่วงเวลาถ่ายภาพได้ตามต้องการก่วยอัตราเร็วชัตเตอร์ที่กำหนดแล้ว การทำงานเป็นอย่างอัตโนมัติโดยเลือกปุ่มบนแผง ดังแสดงแผนภาพ ซึ่งมีลำดับการทำงานสัมพันธ์กันก่อนหลังดังนี้

๒.๖.๑ ส่งสัญญาณจากตัวควบคุมกล้องถ่ายไปยังมอเตอร์กำลัง (power motor) โดยมือหรืออัตโนมัติ

๒.๖.๒ มอเตอร์หยุดการเคลื่อนเลื่อนฟิล์มไปยังตำแหน่งที่ภาพจะปรากฏ

๒.๖.๓ ชัตเตอร์เปิดถ่ายภาพ ๑ ครั้ง

๒.๖.๔ ชัตเตอร์ปิด มอเตอร์ส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุม

๒.๖.๕ ตัวควบคุมสัดกำลังที่ไปยังมอเตอร์

๒.๖.๖ ตัวควบคุมส่งสัญญาณให้โปรแกรมเมอร์ทำงานเลื่อนสเตป (step)

๒.๖.๗ โปรแกรมเมอร์เลือกคำสั่งใหม่จากเครื่องมือวัดความต่างศักย์

๒.๖.๘ วงจรเซอร์โวสเตปเลื่อนจัดตำแหน่ง $\pm\Delta\lambda$ จากเส้นไฮโดรเจนอัลฟาของตัวกรอง และมุมของชัตเตอร์

๒.๖.๙ มอเตอร์รับสัญญาณต่อไปจากตัวควบคุม

๒.๗ การเทียบมาตรฐานของไฮโดรเจนอัลฟา

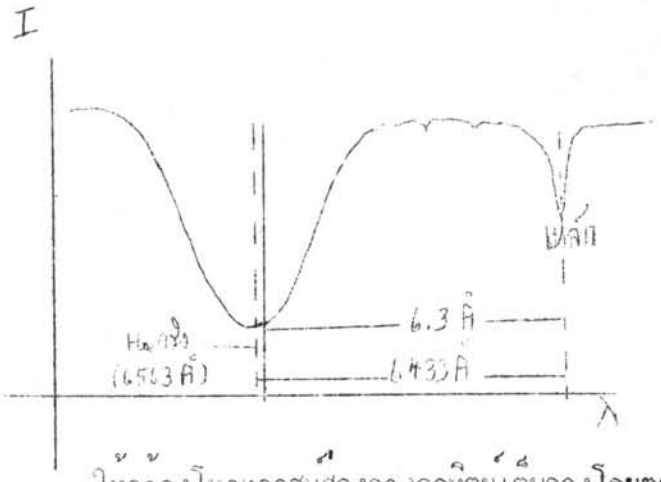
มีการเบี่ยงเบนเล็กน้อยระหว่างตำแหน่งบนหน้าปัทม์ของตัวกรองและตำแหน่งจริง ๆ ที่ควรจะเป็น จึงจำเป็นต้องมีวิธีการกำหนดตำแหน่งแท้จริงของกลางเส้นไฮโดรเจนอัลฟา หลักในการเทียบมาตรฐานนี้ขึ้นอยู่กับการทำงานของโฟโตเซลล์และลักษณะของความยาวช่วงคลื่นที่เส้นไฮโดรเจนอัลฟา $\pm$๑๖ อังสตรอม ซึ่งมีแถบดูดกลืน(absorption band) ที่สั้นและแคบของเหล็กซึ่งอยู่ห่างจากเส้นกลางไฮโดรเจนอัลฟา + ๖.๔๓๓ อังสตรอม รูปลักษณะเส้นสเปกตรัม (line profile) ของไฮโดรเจนอัลฟากว้างกว่า จึงทำให้ความแตกต่างของความสว่างที่ศูนย์ กลางเส้นและไลน์วิงส์ $\simeq \pm$ ๐.๑๕ อังสตรอมจากมันแทบจะสังเกตุไม่ได้เลย ฉะนั้นการหาตำแหน่งของเส้นกลางเหล็กซึ่งสั้นและแคบกว่าจึงเป็นวิธีที่ดีกว่า เพราะความเข้มของแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ศูนย์กลางของเส้นเหล็ก

๒.๗.๑ วิธีทดลองเทียบมาตรฐาน

เครื่องมือใช้วัดความเข้มที่เปลี่ยนแปลงได้นี้ ประกอบก่วยโฟโตเซลล์ที่ต่อเข้ากับแบตเตอรี่และ

I 17061817

ไมโครแอมมิเตอร์ ความเข้มของแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกระแส



รูปที่ ๒.๑๑ กราฟลักษณะประมาณของไฮโดรเจนอัลฟา ±๑๖ อังสตรอม

ให้กล้องโทรทรรศน์ส่องดวงอาทิตย์เต็มดวงโดยตรง ถอดอายพีซของกล้องถ่ายแอคมีออก แล้วเอาโฟโตเซลล์ที่ต่อกับไมโครแอมมิเตอร์สวมแทน ระมัดระวังอย่าให้แสงอื่นรั่วเข้าโฟโตเซลล์ได้และทัศนวิสัยโดยเฉลี่ยควรจะเท่ากันในบริเวณรอบ ๆ ตัวดวงอาทิตย์

เปลี่ยน $\Delta\lambda$ จากไฮโดรเจนอัลฟาไปทาง + (เพราะรูปลักษณะเส้นสเปกตรัมที่แท้จริงของเหล็กอยู่ทาง +๖.๔๓๓ จากไฮโดรเจนอัลฟา) แล้วสังเกตุเข็มหน้าปัทม์ของไมโครแอมมิเตอร์ว่า กาแอมแปร์ลดลงอย่างรวดเร็วที่ตำแหน่งใด ซึ่งจะต้องเลื่อน $\Delta\lambda$ ไปช้า ๆ จากการทดลองกาของกระแสลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะของเส้นกลางเหล็กห่างจากเส้นกลางไฮโดรเจนอัลฟาอ่านได้ +๖.๓ อังสตรอม จากหน้าปัทม์ของตัวกรองไซซ์ จากการคำนวณอย่างง่าย ๆ ตำแหน่งจริง ๆ ของเส้นกลางไฮโดรเจนอัลฟาคือ −๐.๑๗ อังสตรอม จากไฮโดรเจนอัลฟาที่อ่านได้บนหน้าปัทม์

๒.๔ การสังเกตุการณ์

การทดลองถ่ายภาพและสังเกตุการณ์ดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น ๒ ระยะคือ ระยะแรกใช้ระบบขยาย ระหว่าง ๒ พฤษภาคม – ๑๔ พฤศจิกายน ๒๕๑๕ และระยะหลังถ่ายเต็มดวงอาทิตย์ระหว่าง ๑๘ ธันวาคม ๒๕๑๕ – ๓๑ มกราคม ๒๕๑๖

ระยะแรกใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๒ ม.ม. ตั้งแต่ ๒ พฤษภาคม – ๑๖ กรกฎาคม ๒๕๑๕ ได้ใช้ระบบขยาย ๔.๓ เท่า และกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ม.ม. ได้ใช้ระบบขยาย ๔.๒ เท่า ใช้กล้องถ่ายภาพยนตร์แอคมีบันทึกภาพ

ในระยะหลังถ่ายภาพเต็มดวงอาทิตย์โดยกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ ม.ม. บันทึกภาพโดยกล้องถ่ายรูปนิคอนเทกซ์, เอกเซกตาและกล้องถ่ายภาพยนตร์แอคมี ได้ภาพดวงอาทิตย์บนฟิล์ม

มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ ๑๔.๕ ม.ม. สำหรับตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทั้ง ๒ ระยะนั้น ได้บรรยายไว้แล้วในเรื่องหัวข้อ ๒.๑

การทดลองถ่ายภาพและทำการสังเกตุการณ์ทำทุกวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ทัศนวิสัยดีพอ เดือนซึ่งดีพอสำหรับการสังเกตุการณ์ คือเดือนมกราคม มีท้องฟ้าปลอดโปร่งตลอดวัน ช่วงระยะเวลาแต่ละวันที่ทัศนวิสัยดีคือ ตั้งแต่ ๑๐.๐๐ น. ถึง ๑๓.๐๐ น. แต่อุปสรรคคือ เมฆและเครื่องมือซึ่งยังติดตั้งไม่เสร็จสมบูรณ์ การเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ยังไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนพอ และตามอย่างอัตโนมัติได้แกนเดียว

การหาขั้วเหนือใต้ของดวงอาทิตย์ ทำได้โดยการเขียนวงกลมรัศมีเท่ากับของดวงอาทิตย์ ที่ฉายลงบนฉากที่รองรับโฟโตเซลล์ที่ใช้ตามดวงอาทิตย์ ทำเครื่องหมายตำแหน่งของจุดดวงอาทิตย์บนแผ่นวงกลมที่วางทาบกับขอบดวงอาทิตย์บนฉากพอดี หยุดเครื่องตามดวงอาทิตย์ชั่วครู่ประมาณ ๑ นาที ภาพของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนไปทางตะวันตก ส่วนขอบทางตะวันออกของภาพดวงอาทิตย์ครั้งหลังจะทับไปบนขอบตะวันตกของวงกลม ทำเครื่องหมายตรงจุดที่ขอบวงกลมทั้ง ๒ นี้ทับกัน ลากเส้นผ่านจุดทั้ง ๒ นี้แล้ว ลากเส้นขนานผ่านจุดศูนย์กลาง หาตำแหน่งมุม P ของแกนดวงอาทิตย์ จากหนังสือ Astronomical Ephermeris ทำมุม P กับเส้นที่ผ่านจุดศูนย์กลางทางทิศเหนือ หาละติจูดและลองติจูด (B_o , L_o) ของจุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์ได้จากหนังสือเช่นกัน เพื่อหาตำแหน่งของฟิลาเมนต์หรืออื่น ๆ ได้โดยใช้กริดหาบ

ก่อนถ่ายภาพต้องรอให้ตัวกรองมีอุณหภูมิคงที่ที่ ๔๕ ซ ให้ภาพของดวงอาทิตย์ตกลงบนฟิล์มตามตำแหน่งที่ต้องการซึ่งดูได้จากตัวของสะท้อนของกล้องถ่ายแล้วใช้โฟโตเซลตามดวงอาทิตย์เมื่อทุกอย่างเรียบร้อย เปิดสวิทช์ให้กล้องถ่ายแอคมีบันทึกภาพ ซึ่งส่วนมากเลือกระยะถ่ายห่างภาพละ ๑๕ วินาที เปิดสวิทช์บนแผงโปรแกรมเมอร์เพื่อเลือก $\pm \Delta\lambda$ ที่ต้องการ (±๒.๐, ±๑.๐ ±๐.๕, ±๐.๐ จากเส้นกลางไฮโดรเจนอัลฟา)

๒.๔ รีดักชั่น

ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาทำการสำรวจ ๔ เดือน คือ เดือนพฤษภาคม ๒๕๑๕ – มกราคม ๒๕๑๖ แบ่งข้อมูลที่ได้เป็น ดังนี้คือ ข้อมูลของเดือนพฤษภาคม ๒๕๑๕ เป็นการเริ่มฝึกหัด ทดลองถ่าย ข้อมูลที่ได้ปรากฏมีรอยด่างในตัวกรองมาก ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากน้ำมันซึมไม่สม่ำเสมอ จนทำให้รายละเอียดของภาพการบนฟิล์มที่ต้องการนั้นไม่ชัดเจนเท่าที่ควร จึง

ไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน ซึ่งใช้กล้องถ่ายแอคมีบันทึกภาพ รอยด่างบนฟิล์มจางมาก เริ่มแรกยังใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๐๖ ม.ม. ระบบขยาย ภาพบนฟิล์ยังคมไม่ชัดพอที่จะเห็นโครงสร้างละเอียด มีทั้งหมดประมาณ ๖,๐๐๐ กว่าภาพ ข้อมูลที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ๑๕๐ม.ม. ระบบขยายเห็นโครง-สร้างละเอียดได้ภาพประมาณ ๖,๐๐๐ ภาพ ส่วนข้อมูลที่ได้จากใช้เลนซ์ออฟเจกทีพลันเดียวนั้น มีจำนวนประมาณ ๕,๐๐๐ ภาพ

ข้อมูลนี้ประกอบด้วยความยาวคลื่นของไฮโดรเจนอัลฟ่าและ $\pm \Delta \lambda$ (เป็น - 2.0 $\pm$1.0, $\pm$0.5, $\pm$0) แม้ว่าข้อมูลจะมีจำนวนมากมาย แต่ภาพที่ดีนั้นมีน้อย ทั้งนี้เนื่องจากทัศนวิสัยรอยด่างบนฟิล์ม การติดตามดวงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอพอ ทำให้ภาพกระโดดได้ รอยขีดข่วนบนฟิล์มซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายทางเมื่อนำฟิล์ม ล้างอัด และรอยเปื้อนเนื่องจากฝุ่นละอองในอากาศจับฟิล์ม แต่พวยกาซเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่สังเกตุง่าย จึงพอที่จะหาความรู้จากข้อมูลนั้นได้

การติดตามดูการเปลี่ยนแปลงของพวยกาซนั้น จำเป็นในระบบขยาย แต่ระยะเวลาที่ทำการทดลองบันทึกภาพอยู่ในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีเมฆมากและภาวะอากาศแปรปรวนอยู่เสมอ ฉะนั้นจึงทำให้หาช่วงอายุของพวยกาซไม่ได้ การดูและดูชนิดพวยกาซหาได้จากฟิล์ม ส่วนรูปที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์นี้เป็นรูปที่ได้คัดเลือกและวิเคราะห์แล้ว

ส่วนข้อมูลจากระบบไม่ขยาย ซึ่งได้ภาพดวงอาทิตย์เต็มดวงนั้น ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมของฟิลาเม้นต์ (พวยกาซ) ในแต่ละวันที่ติดต่อกัน โดยเลือกรูปที่ชัดเจนมาอัดขยายเท่าขนาดของกริด ในแสงไฮโดรเจนอัลฟ่า และหาขั้วเหนือใต้และตำแหน่งของพวยกาซศึกษาพฤติกรรมของมัน และให้หมายเลขพวยกาซที่ปรากฏให้เห็นจากภาพ นอกจากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพวยกาซจากฟิล์มในช่วงเวลาที่บันทึกได้ในวันที่มีข้อมูลในระยะเวลายาวพอ เช่นวันที่ ๑๕ มกราคม ๒๕๑๖