



บทที่ 7

### สเปกตรัมของเทพีฟากฟ้าอื่น

ในบทนี้จะ ได้กล่าวถึงการนำเครื่องมือที่ออกแบบและประกอบขึ้นสำหรับศึกษา สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาสเปกตรัมของแสงที่มาจากดวงจันทร์ และแยกส่วนของอุปกรณ์บางส่วนมาประกอบขึ้นใหม่เพื่อศึกษาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ และ เนบิวลาเปล่งแสง ดังมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปนี้

(ก) ในการศึกษาสเปกตรัมของแสงสะท้อนจากดวงจันทร์ เปลี่ยนเลนส์หน้า ของกล้องโทรทรรศน์เป็นเลนส์ความยาวโฟกัส 225 เซนติเมตร  $f:15$

(ข) สำหรับดาวฤกษ์และเนบิวลาเปล่งแสงในกลุ่มดาวนายพราน ใช้เฉพาะ เกรตติงกับเลนส์สร้างภาพ นำไปติดตั้งร่วมกับกล้องโทรทรรศน์ที่มีเลนส์หน้าความยาวโฟกัส 150 เซนติเมตร  $f:10$  ที่ใช้ในการติดตามดาวฤกษ์ การถ่ายภาพสเปกตรัมจัดเครื่องมือ ตามหลัก objective prism แต่ตัดแปลงใช้เกรตติงแทนที่ปริซึม

ในการเปรียบเทียบสเปกตรัมของดาวฤกษ์ดวงต่างๆ โดยเฉพาะในการจำแนก ประเภทสเปกตรัมของดาวฤกษ์แต่ละดวง นิยมเปรียบเทียบความแรง (strength) ของ เส้นสเปกตรัมต่างๆ ความแรงนี้หมายถึงความชัดเจนของเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ที่ พิจารณา ดังนั้นในบทนี้ก่อนที่จะกล่าวถึงการสังเกตการณ์และผลของการสังเกตการณ์ในรูป ของภาพถ่ายสเปกตรัมของดาวฤกษ์จะ ได้กล่าวถึงเรื่องเกี่ยวกับความแรงของเส้นว่าจะมี ความสัมพันธ์อย่างไรกับสมบัติของบรรยากาศของดาวฤกษ์ดวงที่พิจารณา

#### ความแรงของเส้นสเปกตรัม (strength of spectral lines)

ความแรงของเส้นสเปกตรัมหมายถึงความชัดเจนของเส้นสเปกตรัมที่พิจารณา หรือพูดง่าย ๆ ว่า คือความเข้มของเส้นว่าชัดเจนมากน้อยเพียงไร ความแรงนี้อาจกล่าวได้ ว่าเป็นผลที่ติดตามมาของการกว้างขึ้นของเส้นสเปกตรัม ทั้งนี้เพราะในการกว้างขึ้นของ เส้นสเปกตรัมนั้นจะมากขึ้นอยู่กับปริมาณหนึ่งด้วย ปริมาณหนึ่งก็คือ ความหนาแน่นจำนวน

(number density) ของอะตอมหรือไอออนที่จะดูดกลืนแสงความยาวคลื่นนั้น เช่น ในกรณีเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ของธาตุไฮโดรเจน ในอนุกรมของบัลเมอร์ ที่ให้สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่นแสง เส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์นี้เกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากระดับพลังงานกระตุ้นแรก (first excited state) ที่มีค่า  $n = 2$  ดังนั้นถ้าพิจารณาถึงบรรยากาศที่ประกอบด้วยอะตอมของธาตุต่างๆ รวมทั้งอะตอมของธาตุไฮโดรเจน ทั้งที่อยู่ในระดับพลังงานกระตุ้นแรกและในระดับพลังงานอื่น และโปรตอนที่เป็นอะตอมของธาตุไฮโดรเจนที่ถูกไอออไนซ์อิเล็กตรอน ทั้งนี้หากในบรรยากาศของดาวฤกษ์มีสภาพอำนวยให้มีความหนาแน่นจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนที่พร้อมจะดูดกลืนพลังงานให้เกิดเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ในอนุกรมของบัลเมอร์อยู่มาก เส้นสเปกตรัมนั้นก็จะมี ความแรงมาก ทั้งนี้สัดส่วนของความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่อยู่ในสถานะต่างๆของแต่ละธาตุในบรรยากาศ ที่สัมพันธ์กับสภาพของบรรยากาศ เช่น อุณหภูมิของบรรยากาศ ความหนาแน่นจำนวนของอิเล็กตรอน เป็นต้น สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาผ่านสมการสองสมการคือ สมการของแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์ (Maxwell-Boltzmann equation) และสมการของสะฮา (Saha's equation) ทั้งสองสมการพิจารณาถึงบรรยากาศดาวในลักษณะของกลุ่มแก๊สในปริมาตรหนึ่งที่อยู่ใต้อสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics equilibrium) ที่อุณหภูมิ  $T$  ดังนี้

(1) สมการของแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์ [13]

พิจารณาอะตอมของธาตุชนิดหนึ่งที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์  $j$  ( $j = 0$  หมายถึงยังไม่ถูกไอออไนซ์อิเล็กตรอนออกไปเลย) อะตอมเหล่านี้อยู่ในบรรยากาศที่มีสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ที่อุณหภูมิ  $T$  ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น  $i$  จะแตกต่างจากระดับพลังงานในสถานะพื้นเป็น  $x_i$  ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมของธาตุหนึ่งที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้น  $i$  สถานะไอออไนซ์  $j$  เทียบกับความหนาแน่นอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่อยู่ในสถานะพื้น มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ  $T$  และ  $x_i$  ดังนี้

$$N_{i,j} / N_{0,j} = (g_i / g_0) \exp[ -x_i / kT ] \quad (7-1)$$

$g_i$  คือ statistical weight ของสถานะ  $i$

$g_0$  คือ statistical weight ของสถานะพื้น

$k$  คือ ค่าคงที่ของโบลต์ซมันน์

$N_{1,j}$  คือความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่สถานะ  $i$  สถานะไอออไนซ์  $j$

$N_{0,j}$  คือความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่สถานะพื้น สถานะไอออไนซ์  $j$

หากพิจารณาถึงอะตอมที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์เดียวกัน แต่ในทุกสถานะ

กระตุ้น

$$N_j = \sum N_{1,j} = (N'_{0,j}/g_0) \sum g_1 \exp[-x_1/kT]$$

$$N_j = (N_{0,j}/g_0) U_j(T) \quad (7-2)$$

เมื่อ  $U_j(T)$  เรียกว่าฟังก์ชันแบ่งแยก(partition function)

ของอะตอมนั้นๆที่สถานะไอออไนซ์  $j$  สมการ(7-1) จะลดรูปเป็น

$$N_{1,j}/N_j = (g_1/U_j(T)) \exp[-x_1/kT] \quad (7-3)$$

สมการ(7-3) นี้จะบอกถึงความหนาแน่นของจำนวนอะตอมที่อยู่ในสถานะ

ไอออไนซ์  $j$  และสถานะกระตุ้น  $i$  สัมพันธ์กับอุณหภูมิของบรรยากาศเป็นหลักใหญ่

#### (2) สมการของสหัส[14]

สมการของสหัสเป็นสมการที่บอกความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์ต่างๆเปรียบเทียบกัน สมการของสหัสสามารถเขียนได้ดังนี้

$$N_{j+1} N_0 / N_j = 2(2\pi m kT/h^2)^{3/2} (U_{j+1}/U_j) \exp[-X_j/kT]$$

หรือ

$$N_{j+1} P_0 / N_j = 2(2\pi m/h^2)^{3/2} (kT)^{5/2} (U_{j+1}/U_j) \exp[-X_j/kT]$$

(7-4)

$N_{j+1}$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่สถานะไอออไนซ์  $j+1$

$N_j$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่สถานะไอออไนซ์  $j$

$N_0$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระในบรรยากาศ

$P_0$  คือ ความดันของอิเล็กตรอนอิสระ (electron pressure)

ในบรรยากาศ

$U_{j+1}$  และ  $U_j$  คือฟังก์ชันแบ่งแยกที่สถานะไอออไนซ์  $j+1$  และ  $j$

ตามลำดับ

$X_j$  คือ พลังงานไอออไนซ์ (ionisation energy) ที่จะไอออไนซ์อิเล็กตรอนจากอะตอมให้เปลี่ยนจากสถานะไอออไนซ์  $j$  เป็นสถานะไอออไนซ์  $j+1$

พิจารณาสมการ(7-3)และ(7-4) ร่วมกัน ถ้าทราบปริมาณเวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ พลังงานกระตุ้น พลังงานไอออไนซ์ ความหนาแน่นจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระ ฟังก์ชันแบ่งแยกของอะตอม สามารถคำนวณหาสัดส่วนความหนาแน่นจำนวนของอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้นหรือสถานะไอออไนซ์ต่างกันได้ เช่น ในกรณีอะตอมของธาตุไฮโดรเจนในบรรยากาศ ที่ประกอบด้วย ความหนาแน่นจำนวนอะตอมของธาตุไฮโดรเจนที่มีอิเล็กตรอนในสถานะกระตุ้นต่างๆ ความหนาแน่นจำนวนของโปรตอนซึ่งก็คืออะตอมของธาตุไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์ II (คือมีสถานะไอออไนซ์ ค่า  $j = 1$ ) ถ้า

$N_{1,2}$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมไฮโดรเจนที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้นแรก (ระดับพลังงานที่สอง  $n = 2$ ) ในบรรยากาศ

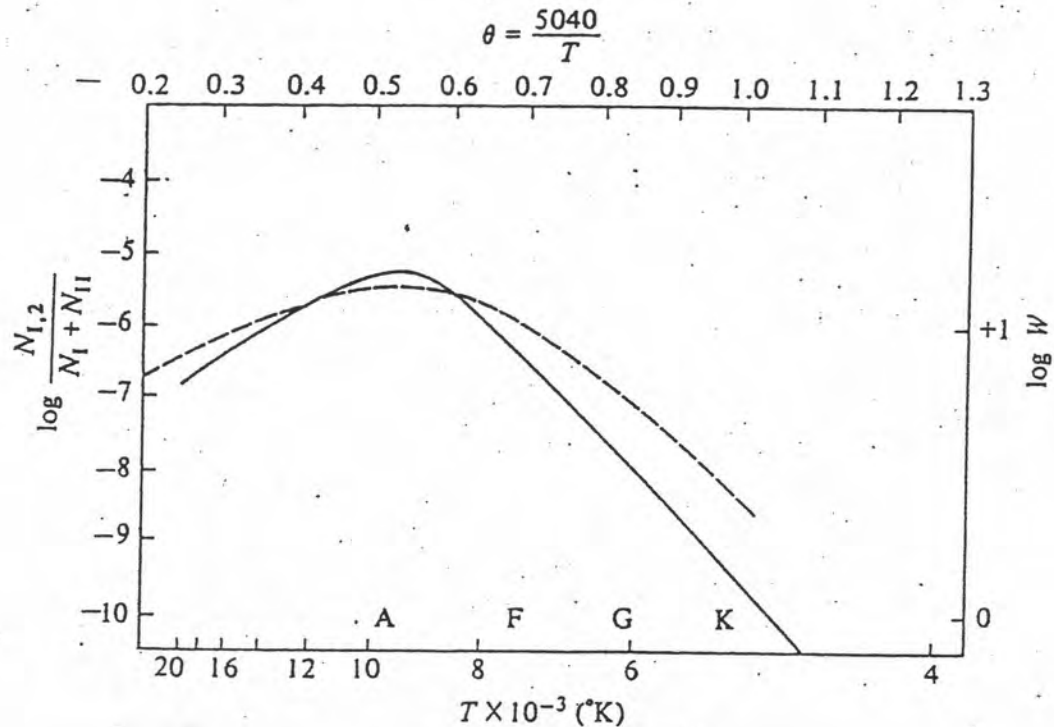
$N_T$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมไฮโดรเจนที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในสถานะพลังงานต่างๆรวมทั้งหมดทุกสถานะพลังงาน

$N_{II}$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของโปรตอนในบรรยากาศ

สัดส่วนของอะตอมไฮโดรเจนที่มีอิเล็กตรอนอยู่ในสถานะกระตุ้นแรกเทียบกับอะตอมไฮโดรเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศในทุกสถานะพลังงานรวมทั้งโปรตอนด้วย ให้เป็น  $f$  ที่มีลักษณะดังนี้

$$f = N_{1,2} / (N_T + N_{II}) = (N_{1,2} / N_T) / [1 + (N_{II} / N_T)] \quad (7-5)$$

จะเห็นว่า  $f$  ขึ้นกับ  $N_{1,2} / N_T$  และ  $N_{II} / N_T$  ซึ่งปริมาณแรกสามารถหาได้จากสมการ(7-3)และปริมาณหลังสามารถหาได้จากสมการ(7-4) รูปที่ 7-1 แสดงความสัมพันธ์ของค่าลอการิทึมฐานสิบของค่า  $f$  กับอุณหภูมิของบรรยากาศที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นประเภทสเปกตรัมของดาวในเส้นกับ กับความแรงของเส้นสเปกตรัมของบัลเมอร์ที่แสดงออกมาทางค่าลอการิทึมฐานสิบของความกว้างเทียบเท่า (equivalent width) กับอุณหภูมิ ที่แสดงในเส้นประ จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกันดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้รูปที่ 7-1 แสดงค่าในบรรยากาศที่มีความดันของอิเล็กตรอนอิสระ ( $P_e$ ) เป็น 100 ไคร์ต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 7-1 แสดงลักษณะของความแรงของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนใน  
อนุกรมของบัลเมอร์ (พิจารณาเส้น H $\gamma$ )

#### การสังเกตการณ์สเปกตรัมของแสงสะท้อนจากผิวดวงจันทร์

เนื่องจากดวงจันทร์มีลักษณะเหมือนดาวเคราะห์ แสงจากดวงจันทร์ก็คือ  
แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากผิวดวงมายังผู้สังเกตบนโลก ดังนั้นถ้าเทียบสเปกตรัมของแสง  
ที่มาจากดวงจันทร์กับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ควรจะมีเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์เป็น  
เช่นเดียวกัน เพื่อเป็นการทดสอบจึงได้ทดลองถ่ายภาพสเปกตรัมของแสงจากดวงจันทร์  
ตามการดำเนินงานต่อไปนี้

ในการสังเกตการณ์และถ่ายภาพสเปกตรัมของแสงจากดวงจันทร์ได้กระทำ  
ในช่วงวันที่ 20 และ 21 มีนาคม 2532 ถ่ายภาพด้วยฟิล์มโกดักทีแมกซ์-400 โดยใช้  
วิธีการล้างให้ฟิล์มเสมือนมีความไวแสงเพิ่มขึ้นเท่ากับฟิล์มที่มีค่า ISO 1600 ดังนี้

ฟิล์มของวันที่ 20 มีนาคม ทำการล้างฟิล์มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ด้วยสารทำให้เกิดภาพ D-76 นาน 10 นาที แขนในตัวตริง F-5 นาน 15 นาที ส่วนฟิล์มของวันที่ 21 มีนาคม ล้างด้วยสารทำให้เกิดภาพ D-76 ใช้เวลาล้าง 10.5 นาที ที่อุณหภูมิ 17 องศาเซลเซียส แขนในตัวตริง F-5 นาน 15 นาที เท่ากัน ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงจากดวงจันทร์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 7-2 เปรียบเทียบกับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 7-3 ทั้งสองรูปมีการกระจายเชิงเส้นเท่ากันคือ 0.018 มิลลิเมตรต่ออังสตรอม

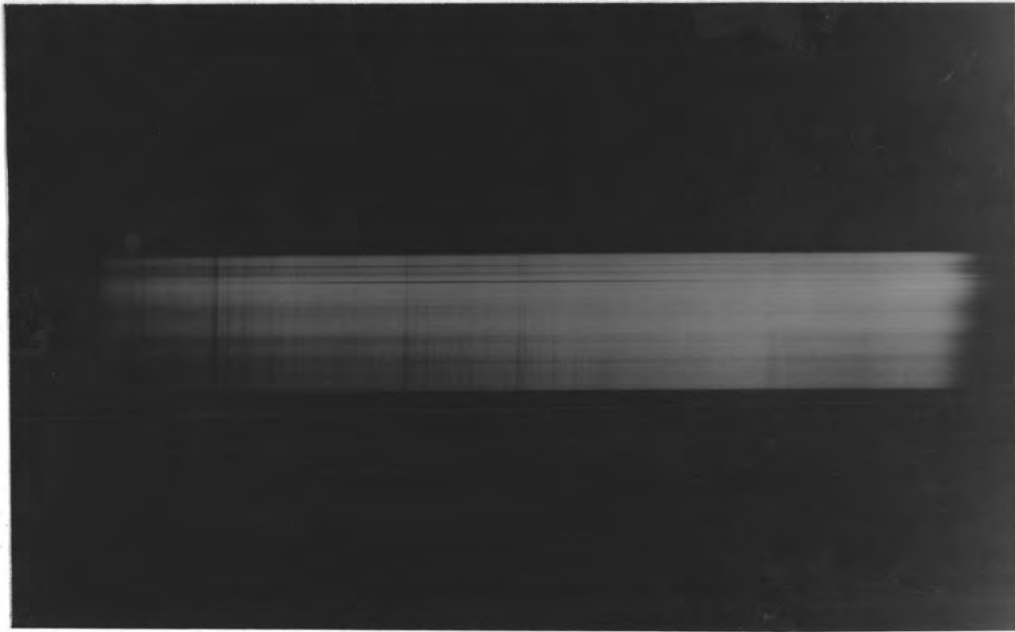
โดยสรุปจะเห็นว่ารูปสเปกตรัมของแสงที่มาจากดวงจันทร์มีลักษณะเช่นเดียวกับรูปสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ ก็คือดวงจันทร์เป็นวัตถุที่สะท้อนแสงอาทิตย์มายังโลก แต่เนื่องจากผิวของดวงจันทร์ไม่เรียบที่เดียวจึงสะท้อนแสงไม่เท่ากันในแต่ละส่วน สเปกตรัมของแสงจากดวงจันทร์จึงปรากฏเป็นริ้ว แต่ก็ยังมีเส้นสเปกตรัมต่างๆ เช่นเดียวกับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์เช่นเดิม

#### การสังเกตการณ์สเปกตรัมของแสงจากดาวฤกษ์

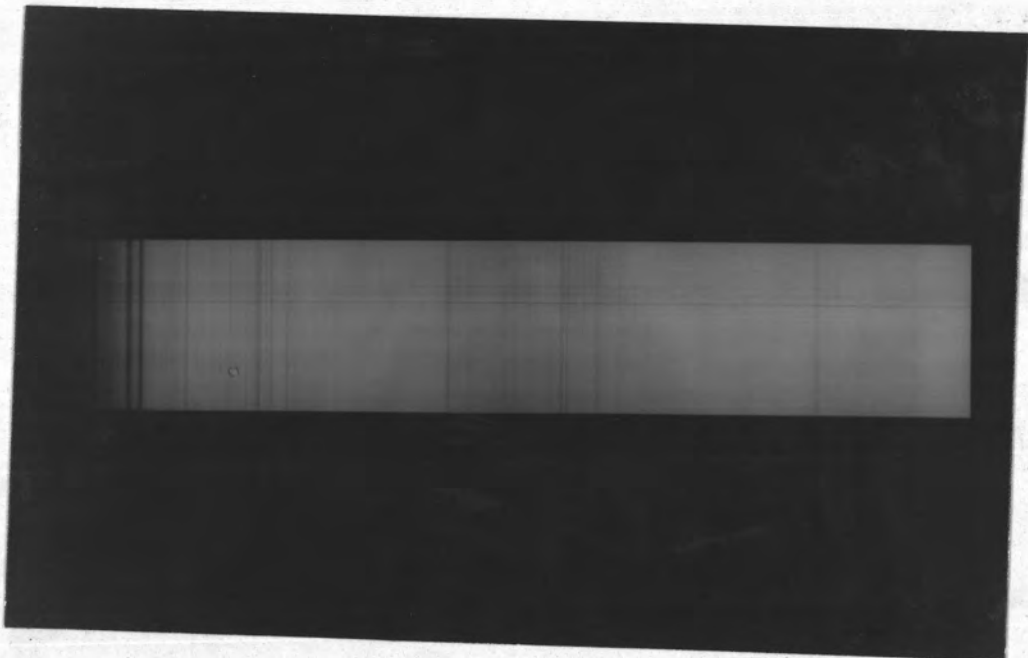
สำหรับการศึกษาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ต่างๆ ในบทที่ 4 และ 5 ได้กล่าวถึง การเก็บข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์อย่างง่ายๆ ในกรณีที่ไม่ต้องการความละเอียดของสเปกตรัมมากนัก โดยการใช้หลักการ objective prism คือ การนำปริซึมขนาดใหญ่มาบังหน้ากล้องที่ใช้บันทึกภาพ แล้วจัดมุมกล้องให้ได้ภาพสเปกตรัมจากการแยกแสงของปริซึมในโครงการนี้ได้ตัดแปลงวิธีการใช้อุปกรณ์เล็กน้อย คือ ใช้เกรตติงแสงผ่านบังหน้ากล้องแทนปริซึม การใช้เกรตติงให้ผลที่ดีที่สุดคือการกระจายเชิงเส้นของสเปกตรัมในอันดับสเปกตรัมที่ 1 จะมีค่าคงที่ จึงง่ายต่อการกำหนดตำแหน่งของเส้นสเปกตรัมเฟรอนโฮเฟอร์ต่างๆ ในภาพ รายละเอียดของการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์มีดังนี้

#### (1) ห้วงเวลาสังเกตการณ์และบันทึกภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์

ในการศึกษาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ สภาพของท้องฟ้าขณะที่สังเกตการณ์ต้องมีทัศนวิสัยดี คือมีแสงรบกวนและฝุ่นละอองในอากาศน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาสถานที่ที่เหมาะสมที่จะดำเนินงานเก็บข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์ สำหรับในโครงการนี้ได้นำกล้องโทรทรรศน์พร้อมฐานติดตั้งที่มีระบบควบคุมติดตามตำแหน่งของดาวฤกษ์ ไปติดตั้งเพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่ศูนย์พัฒนาอวกาศของมหาจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย กิ่งอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ การดำเนินการเก็บข้อมูลอยู่ภายใต้การควบคุม



รูปที่ 7-2 แสดงสเปกตรัมของแสงจันทร์เมื่อวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2532  
เปิดหน้ากล้องนาน 3 นาที ใช้ฟิล์มที่แมกซ์-400 ที่ความไวแสง ISO 1600



รูปที่ 7-3 แสดงสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่มีค่าการกระจายเชิงเส้นของ  
สเปกตรัมเท่ากับสเปกตรัมในรูปที่ 7-2 เพื่อเปรียบเทียบ

ของ ผศ.ดร.พรชัย พิชรินทร์ตะกุล ห้วงเวลาสังเกตการณ์อยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2531 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ.2532

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลประกอบด้วย ฐานติดตั้งกล้อง โทรทรรศน์ กล้องโทรทรรศน์ และระบบเก็บข้อมูล กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เป็นกล้องที่มีเลนส์หน้าขนาด ความยาวโฟกัส 1500 มิลลิเมตร  $f:10$  พร้อมเลนส์ตาที่มีเส้นกึ่งกลางของเลนส์หน้าสำหรับใช้ ช่วยการควบคุมติดตามดาวฤกษ์ ระบบเก็บข้อมูลประกอบด้วยกล้องถ่ายรูปพร้อมเลนส์ขนาด ความยาวโฟกัส 600 มิลลิเมตร  $f:4$  และเกรตติงแสงผ่าน เกรตติงแสงผ่านติดตั้งบน กรอบอลูมิเนียมที่อยู่บนฐานติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ โดยให้หันหน้าในทิศเดียวกันกับ กล้องโทรทรรศน์ กล้องถ่ายรูปติดตั้งวางอยู่หลังเกรตติงบนฐานหมุนเปลี่ยนทิศได้ที่มีจุดหมุน อยู่ใต้เกรตติงบนกรอบอลูมิเนียม พร้อมทั้งมีกล่องดำสำหรับกันน้ำค้างและเปิดให้แสงเข้าสู่ ระบบเฉพาะส่วนที่ผ่านเกรตติง

ฟิล์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ใช้ฟิล์ม 2 แบบ คือฟิล์ม โกดัก ไตรเอ็กซ์-แพน ฟิล์ม โกดักทีแม็กซ์-400 ขนาดฟิล์ม 120 สำหรับบันทึกภาพ ล้างฟิล์มด้วยสารทำให้เกิดภาพ D-76 นานเท่าที่เหมาะสมกับสภาพของฟิล์มและสภาพแวดล้อมขณะล้าง โดยทั่วไปอยู่ในช่วง เวลา 5 ถึง 7 นาทีที่อุณหภูมิ 24 ถึง 25 องศาเซลเซียส และ 9 ถึง 10 นาทีที่อุณหภูมิ 18 ถึง 20 องศาเซลเซียส แล้วแช่ในตัวตรึง F-5 นาน 15 นาที

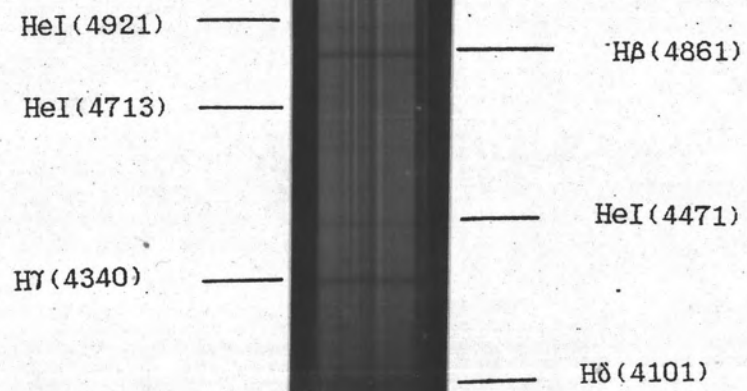
## (2) ข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์จากการสังเกตการณ์

จากการเก็บข้อมูลในห้วงเวลาสังเกตการณ์ ได้บันทึกภาพสเปกตรัมของ ดาวฤกษ์และกระจุกดาวฤกษ์ต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7-1 ภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์ แต่ละดวงแสดงไว้ในรูปที่ 7-4 ถึง 7-18 โดยคัดเลือกภาพที่เห็นว่าดีที่สุดสำหรับดาวฤกษ์ แต่ละดวง สำหรับสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ในรูปที่ 7-11 ถ่ายผ่านสเปกโตรกราฟสำหรับ ศึกษาสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ด้วยการกระจายเชิงเส้นเท่ากันและใช้ช่องแคบเดี่ยว ในรูป ที่แสดงจะมีริ้วตามแนวยาวของแถบสเปกตรัมเนื่องจากการติดตามดาวไม่สม่ำเสมอ ในรูปที่ 7-18 นอกจากจะมีภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์ในกระจุกดาวลูกไก่แล้วยังมีสเปกตรัมของ แสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากดาวพฤหัสบดีในอันดับสเปกตรัมที่ 2 และภาพดาวที่แสงเข้าสู่กล้อง ตรงๆในอันดับสเปกตรัม 0 เป็นเส้นสว่างด้วย

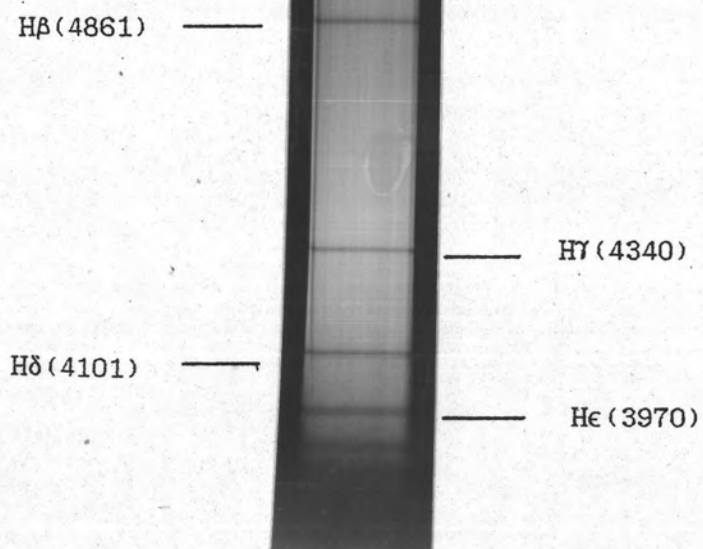


ตาราง 7-1 บันทึกวัน และเวลาเปิดหน้ากล้อง ประเภทสเปกตรัมและ  
ความส่องสว่าง สำหรับดาวฤกษ์แต่ละดวงและกระจุกดาว

ดาวหรือกระจุกดาว	วันที่บันทึกภาพ	เวลาเปิดหน้ากล้อง	ชนิดสเปกตรัม	รูปที่
$\alpha$ - Vir	3 เม.ย. 32	15 นาที	B1V	7-4
$\alpha$ - Leo	3 ม.ค. 32	20 นาที	B7V	7-5
$\beta$ - Ori	4 ธ.ค. 31	10 นาที	B8Ia	7-6
$\alpha$ - CMa	3 ธ.ค. 31	7 นาที	A1V	7-7
$\alpha$ - Gem	5 ม.ค. 32	30 นาที	A1V	7-8
$\alpha$ - CMi	4 ธ.ค. 31	21 นาที	F5IV	7-9
$\alpha$ - Aur	4 ก.พ. 32	16 นาที	G8III	7-10
Sun	7 เม.ย. 32	1/500 วินาที	G2V	7-11
$\beta$ - Gem	3 ก.พ. 32	47 นาที	K0III	7-12
$\alpha$ - Boo	2 เม.ย. 32	10 นาที	K2pIII	7-13
$\alpha$ - Tau	3 ธ.ค. 31	21 นาที	K5III	7-14
$\alpha$ - Sco	3 เม.ย. 32	30 นาที	M1Ib	7-15
$\alpha$ - Ori	2 เม.ย. 32	19 นาที	M2I	7-16
Hyades	6 ม.ค. 32	30 นาที		7-17
Pleiades	4 ธ.ค. 31	30 นาที	B6 - B8	7-18

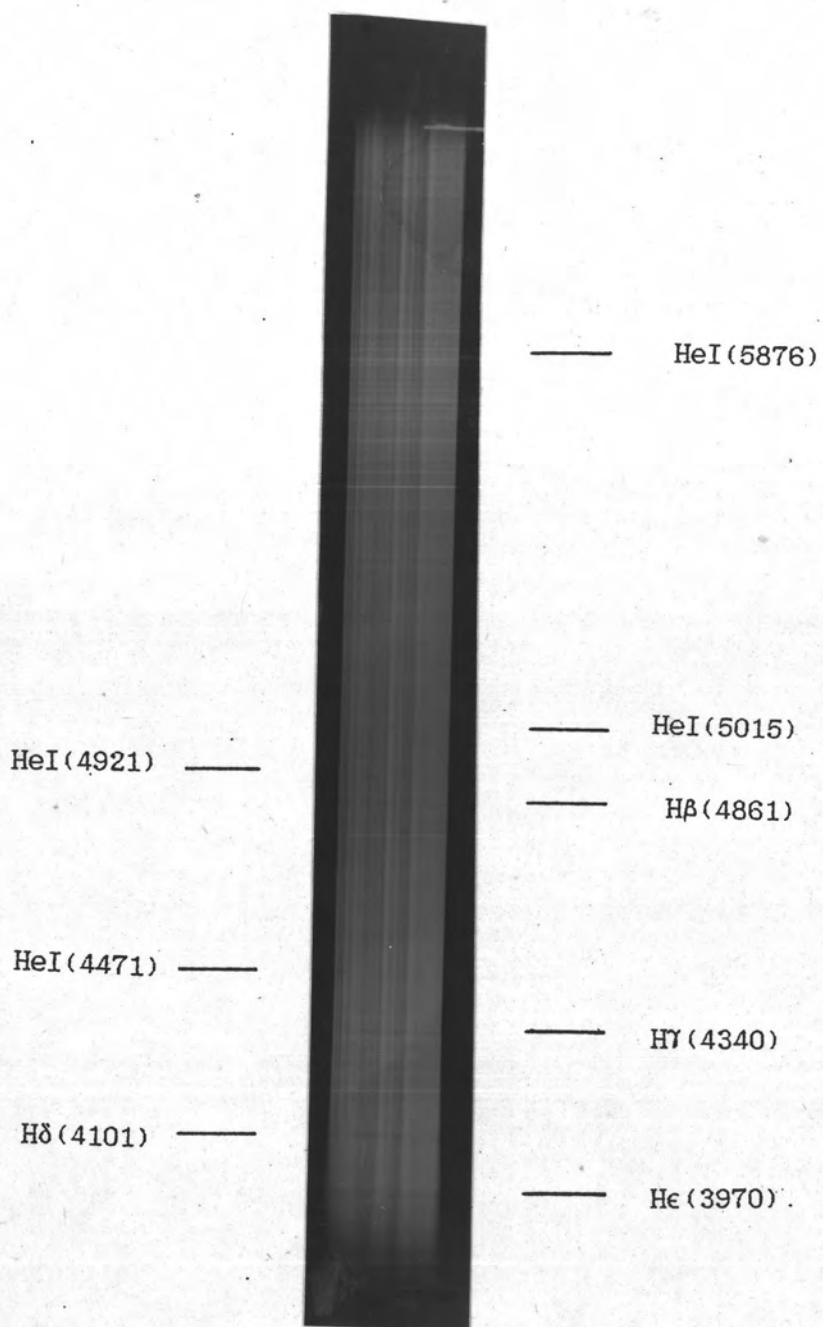


รูปที่ 7-4 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Vir หรือชื่อทั่วไปว่า Spica มีสเปกตรัม  
ประเภท B1V



รูปที่ 7-5 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Leo หรือชื่อสามัญว่า Regulus มีสเปกตรัม

ประเภท B7V



รูปที่ 7-6 สเปกตรัมของ  $\beta$  - Ori หรือชื่อสามัญว่า Rigel มีสเปกตรัม  
ประเภท B8Ia

H $\beta$  (4861) —

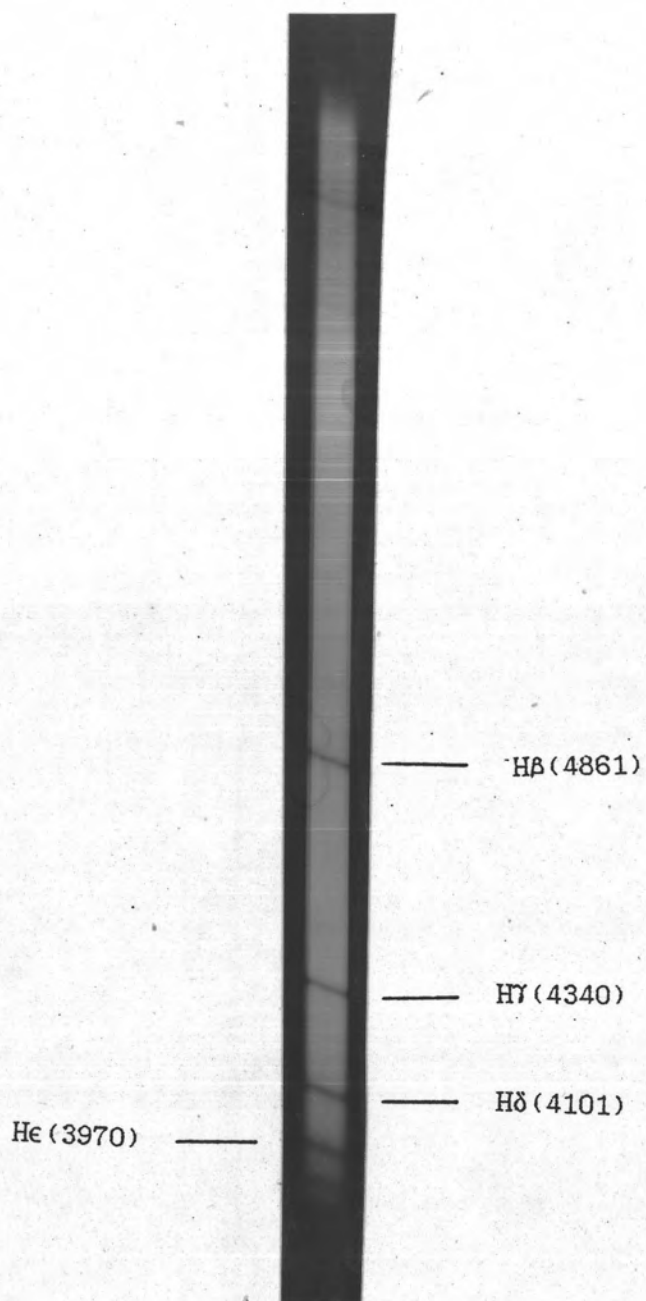
H $\delta$  (4101) —

— H $\gamma$  (4340)

— He (3970)

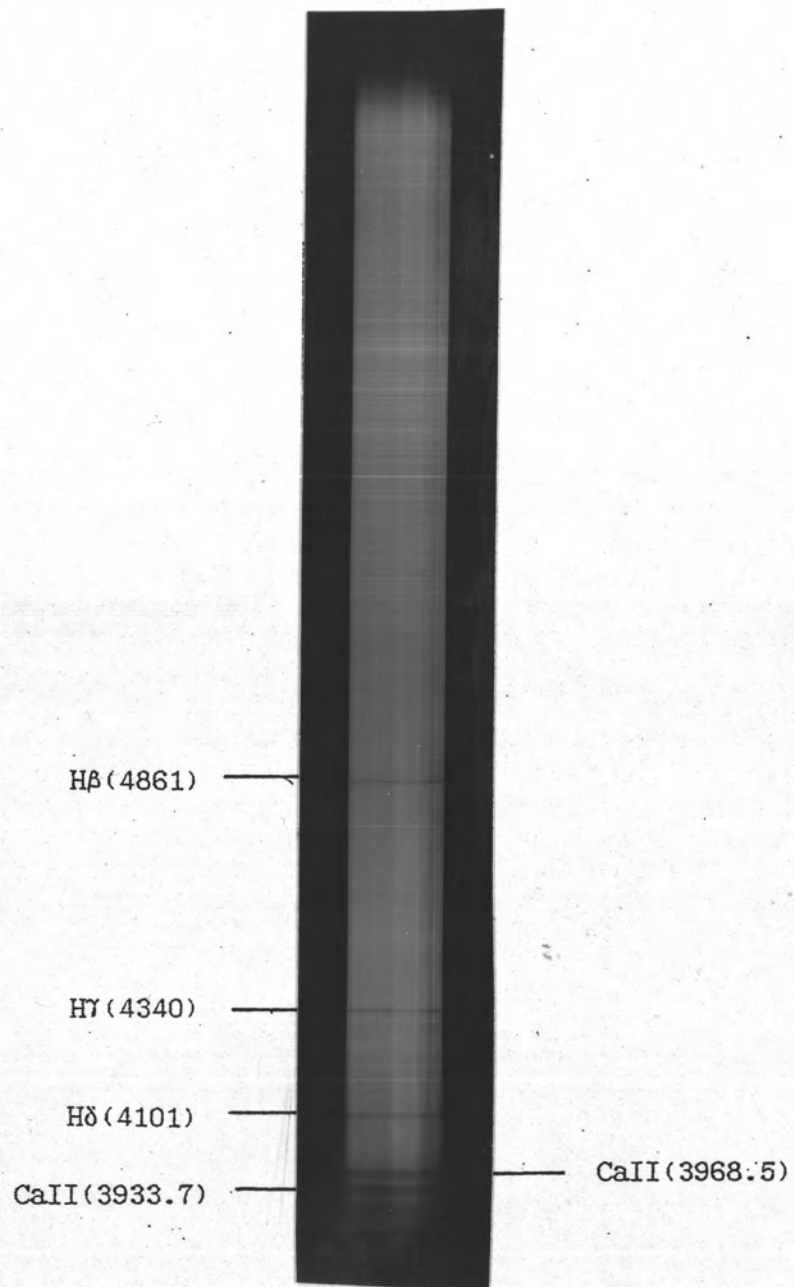
รูปที่ 7-7 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - CMa หรือชื่อทั่วไปว่า Sirius มีสเปกตรัม

ประเภท A1V



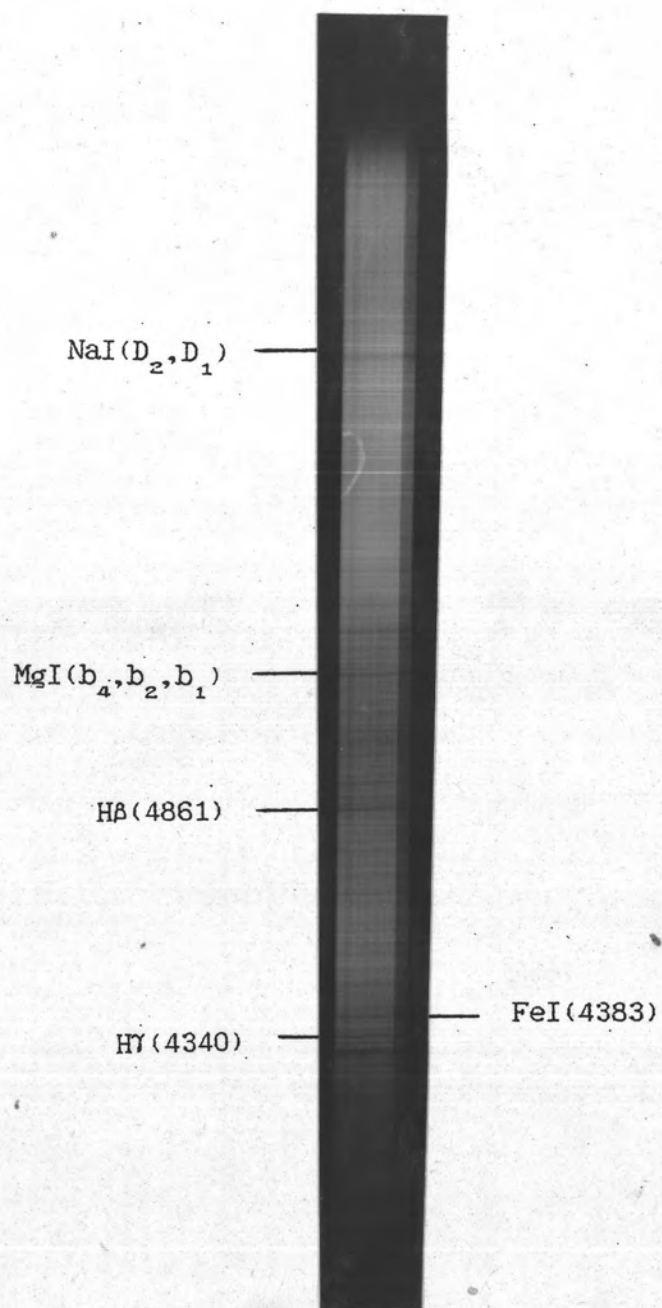
รูปที่ 7-8 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Gem หรือชื่อทั่วไปว่า Caster มีสเปกตรัม

ประเภท A1V



รูปที่ 7-9 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - CMi หรือชื่อทั่วไปว่า Procyon มีสเปกตรัม

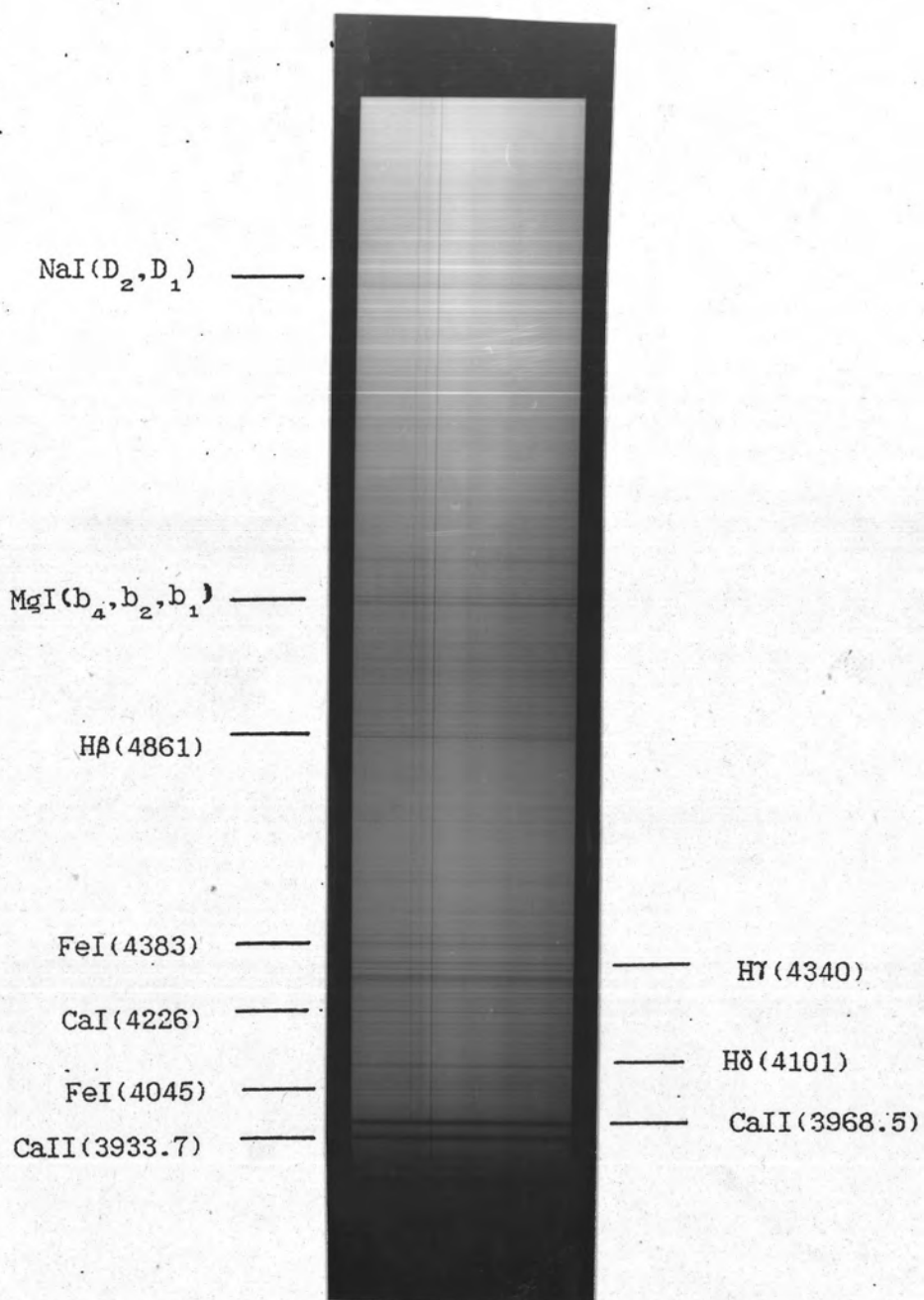
ประเภท F5IV



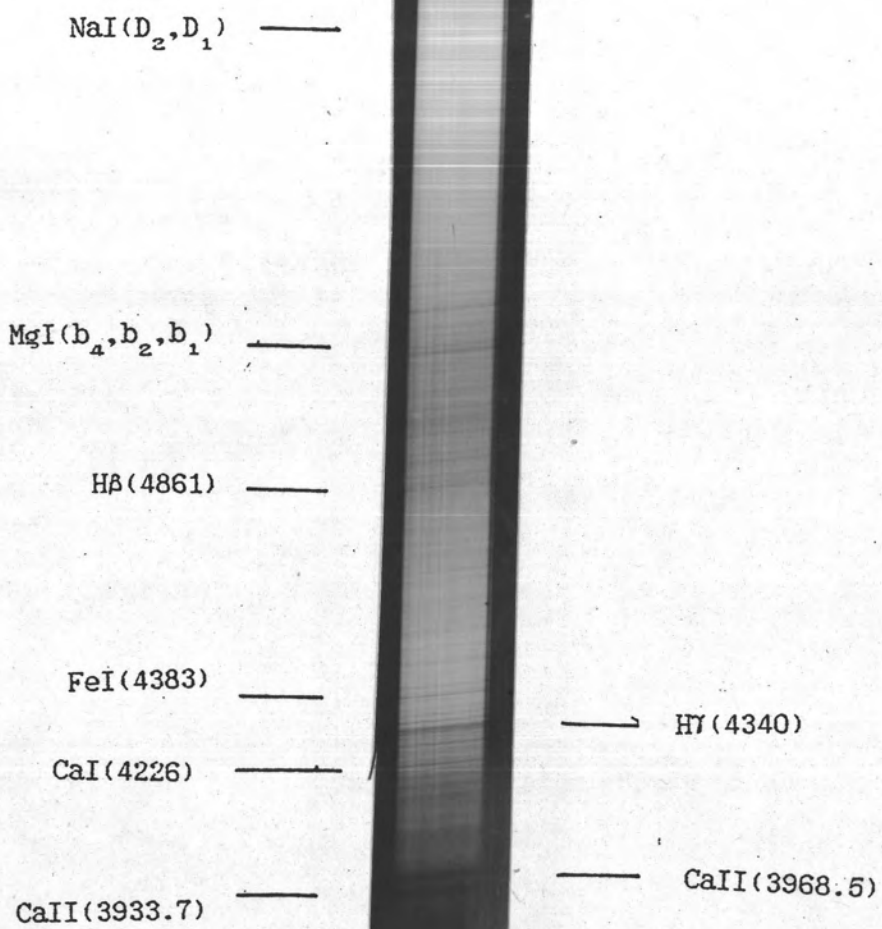
รูปที่ 7-10 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Aur หรือชื่อทั่วไปว่า Capella มีสเปกตรัม

ประเภท G8III



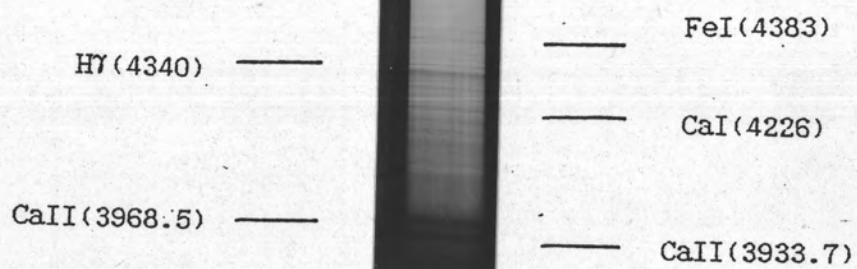


รูปที่ 7-11 สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ ประเภทสเปกตรัม G2V

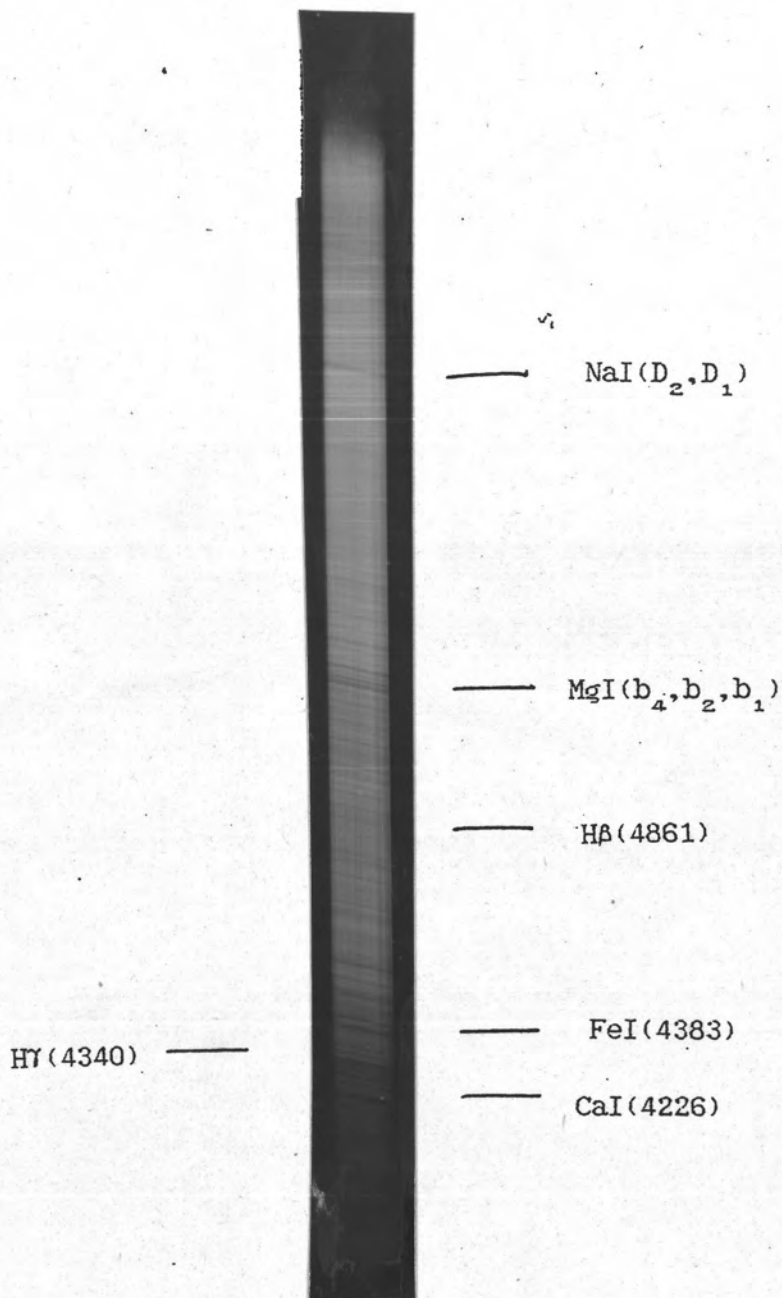


รูปที่ 7-12 สเปกตรัมของ  $\beta$  - Gem หรือชื่อทั่วไปว่า Pollux มีสเปกตรัม

ประเภท KOIII

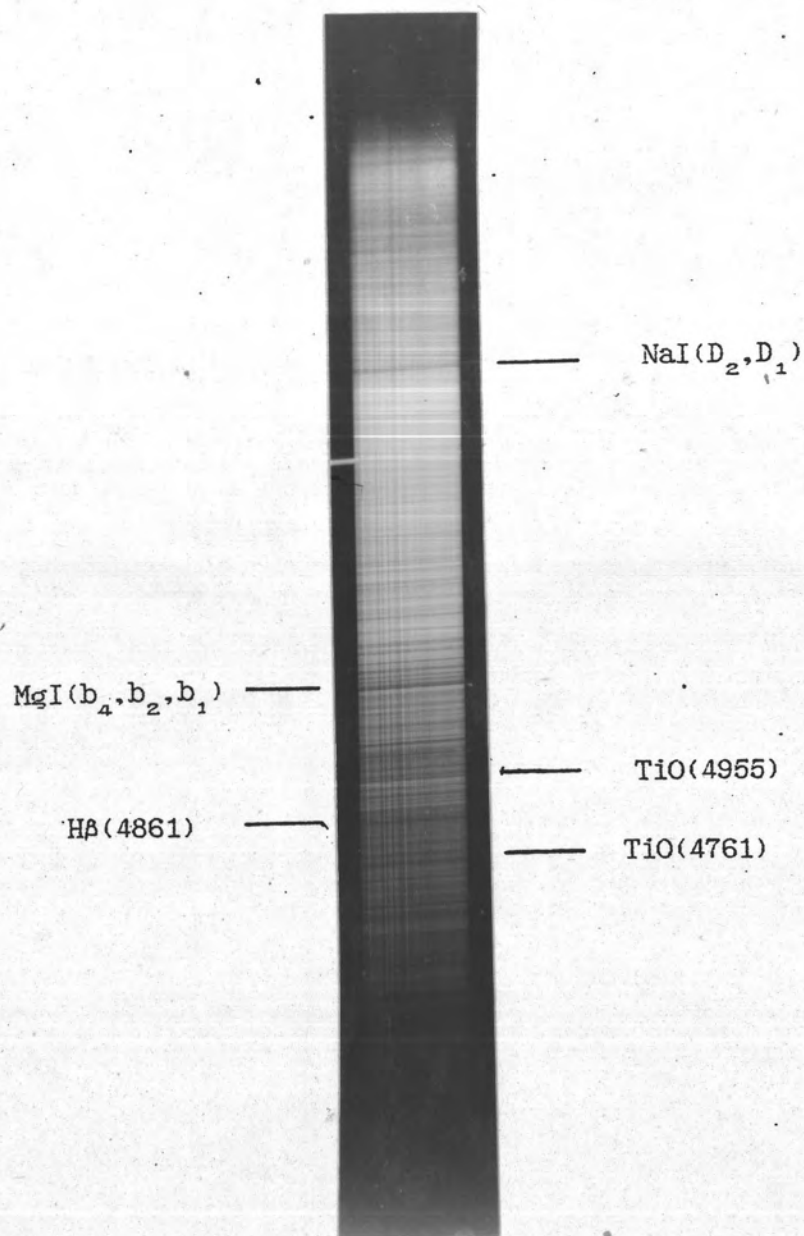


รูปที่ 7-13 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Boo หรือชื่อสามัญว่า Arcturus สเปกตรัม  
 เป็นประเภท K2pIII



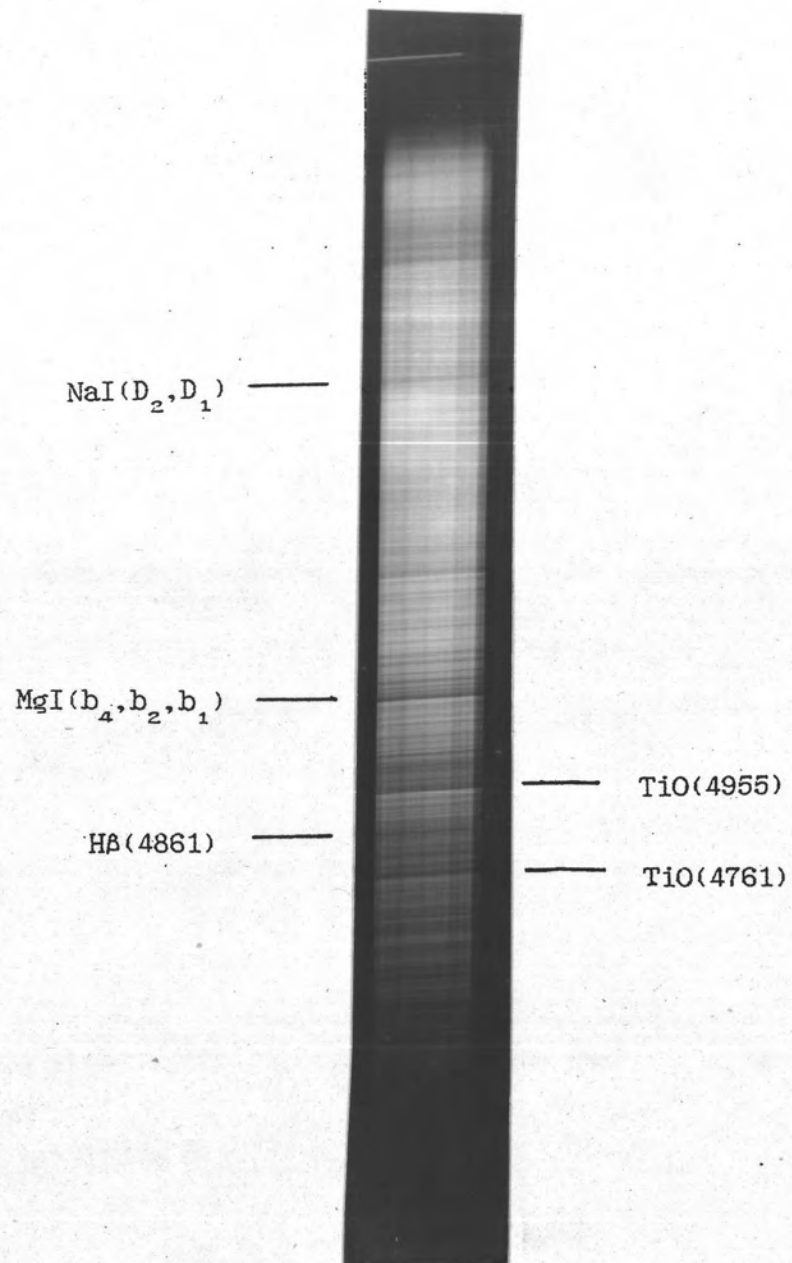
รูปที่ 7-14 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Tau หรือชื่อทั่วไปว่า Aldebaran

ประเภทสเปกตรัม K5III



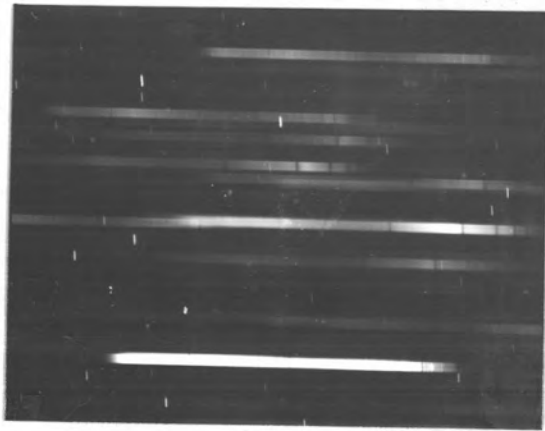
รูปที่ 7-15 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Sco หรือชื่อทั่วไปว่า Antares มีสเปกตรัม

ประเภท M1Ib



รูปที่ 7-16 สเปกตรัมของ  $\alpha$  - Ori หรือชื่อทั่วไปว่า Betelgeuse

มีประเภทสเปกตรัม M2I

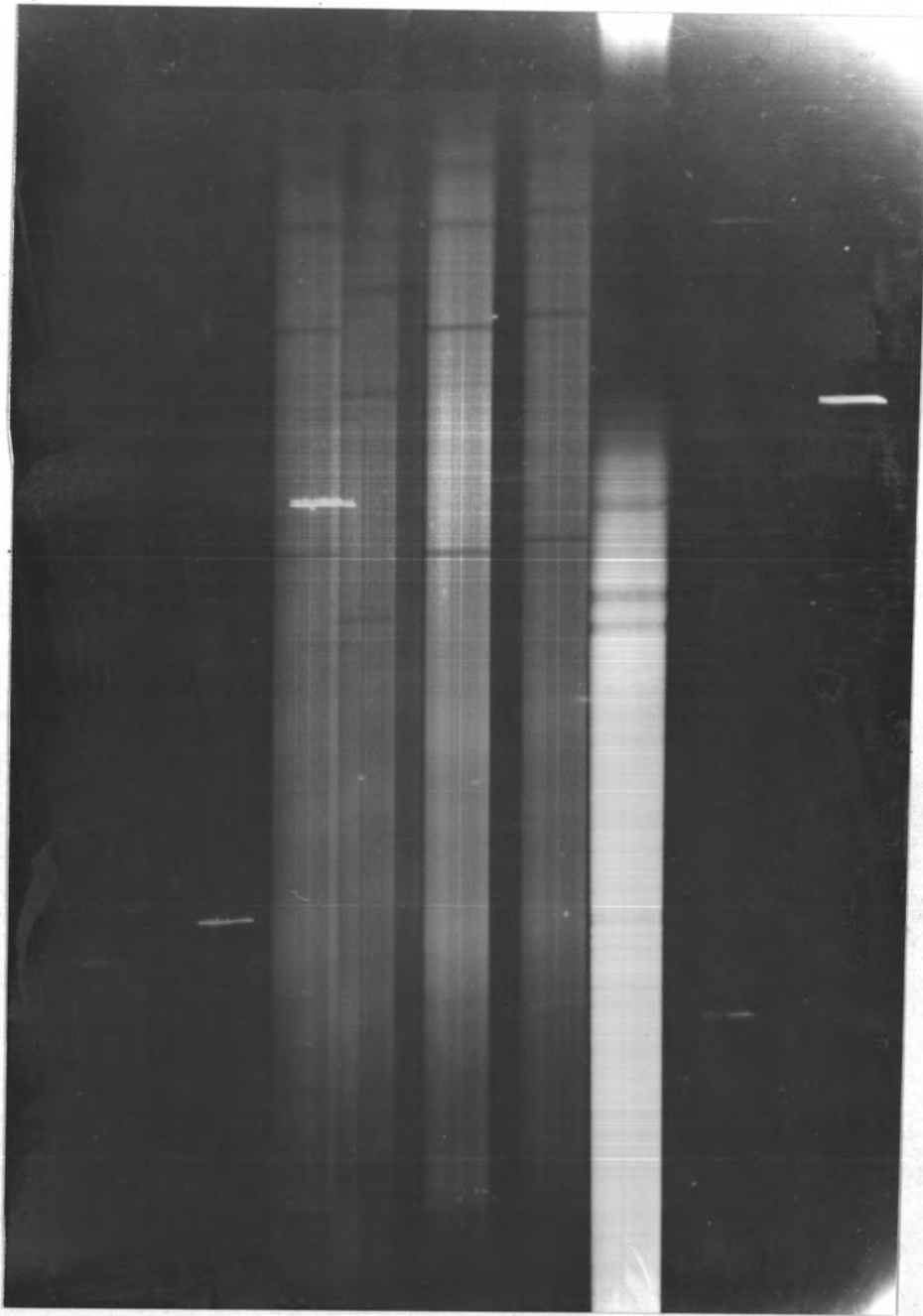


(ก)



(ข)

รูปที่ 7-17 สเปกตรัมของกระจุกดาว Hyades ที่อยู่ในกลุ่มดาวราศีพฤษภ(ก)  
เทียบกับภาพของกลุ่มดาว(ข)



รูปที่ 7-18 สเปกตรัมของกระจุกดาวลูกไก่ (Pleiades) มีประเภทสเปกตรัม  
ในช่วง B6 ถึง B8 สเปกตรัมสว่างทางขวามือคือสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมา  
จากดาวพฤหัสบดี ในอันดับสเปกตรัมที่สอง



(3) การวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมของดาวฤกษ์จากการสังเกตการณ์

จากลำดับของสเปกตรัมในภาพที่ 7-4 ถึง 7-16 จะเห็นว่าลักษณะของเส้นสเปกตรัมมีลักษณะเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ในเรื่องการจำแนกประเภทของสเปกตรัมที่เคยกล่าวถึงในบทที่ 2 โดยที่ความแรงของเส้นจะแตกต่างกันออกไป แต่การสังเกตการณ์จะถูกจำกัดด้วยลักษณะของอุปกรณ์จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่จัดอยู่ในประเภทความสว่างประเภทเดียวกันทั้งหมดได้ ดังนั้นภาพสเปกตรัมที่ได้มาจึงเป็นของดาวฤกษ์ที่มีประเภทความสว่างแตกต่างกันออกไป ทั้งในกลุ่มดาวฤกษ์ยักษ์ และดาวฤกษ์ที่อยู่ในลำดับหลักทั้งนี้มีข้อควรสังเกตเกี่ยวกับการเปลี่ยนความแรงของเส้นสเปกตรัมต่างๆ ดังต่อไปนี้

(ก) ความแรงของเส้นสเปกตรัมเฟอรัไฮโดรเจนของธาตุไฮโดรเจน

จากภาพสเปกตรัมต่างๆจะเห็นได้ว่าความแรงของเส้นสเปกตรัมของธาตุไฮโดรเจนจะลดความแรงลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อพิจารณาดาวฤกษ์ในกลุ่มสเปกตรัมจาก A ไปสู่ F และ K โดยพิจารณาจากรูปที่ 7-1 ที่แสดงถึงความแรงของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนในอนุกรมบัลเมอร์ จะสามารถนำมาประยุกต์อธิบายการเปลี่ยนความแรงของเส้นสเปกตรัมได้ ดังนี้

ภาพที่ 7-1 แสดงค่า  $\log_{10} [N_{1,2} / (N_1 + N_{1,1})]$  ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลงจากประเภทสเปกตรัม B และ A และจะมีค่าสูงสุดในช่วง A0 หลังจากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว นั่นหมายความว่าในประเภทสเปกตรัม A ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศประมาณ 7,500 ถึง 10,000 เคลวิน [2] สัดส่วนของอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์ I (คือสถานะที่มีค่า  $j = 0$ ) และสถานะกระตุ้นแรก (มีค่า  $n = 2$ ) เทียบกับอะตอมไฮโดรเจนและโปรตอนในบรรยากาศจะมีค่าสูงสุด สำหรับดาวฤกษ์ที่อุณหภูมิของบรรยากาศต่ำ (ดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม F ถึง M) ในบรรยากาศความหนาแน่นจำนวนของอะตอมไฮโดรเจนในสถานะไอออไนซ์ I เทียบกับโปรตอน (สถานะไอออไนซ์ II) จะมียมากกว่าดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม A แต่เหตุที่บรรยากาศมีอุณหภูมิต่ำกว่าดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม A ความหนาแน่นจำนวนของอะตอมไฮโดรเจนที่อยู่ในสถานะกระตุ้นแรกคือที่ระดับพลังงานที่สองเทียบกับที่อยู่ในสถานะอื่นทั้งหมดจะมีค่าน้อยกว่ามาก เมื่อพิจารณาสมการที่ (7-5) ก็จะพบว่าค่า  $f$  ลดลงหรือความแรงลดลงนั่นเอง สำหรับดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิต่ำ

สูงกว่าประเภทสเปกตรัม A (ประเภทสเปกตรัม O และ B) อุณหภูมิที่สูงของบรรยากาศ เป็นผลทำให้อะตอมของธาตุไฮโดรเจนส่วนใหญ่ถูกไอออไนซ์เป็นโปรตอน ดังนั้นความแรงของเส้นสเปกตรัมจึงลดลง สำหรับสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่บันทึกภาพมาได้ขาดดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม O และมีดาวฤกษ์ในกลุ่ม B เพียง 3 ดวง คือ  $\alpha$  - Vir (B1V)  $\alpha$  - Leo (B7V) และ  $\beta$  - Ori (B8Ia) สำหรับ  $\beta$  - Ori หรือ Rigel เป็นดาวในกลุ่มดาวฤกษ์ยักษ์ (super giants) ไม่สะดวกในการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาสเปกตรัมที่บันทึกภาพมาได้ ไม่เห็นการลดความแรงลงอย่างชัดเจนนัก ในดาวฤกษ์ที่อุณหภูมิบรรยากาศเพิ่มขึ้น ผิดกับเมื่อพิจารณาในกลุ่มดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศลดลง สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของความแรงของเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนได้ชัดเจน

(ข) ความแรงของเส้นสเปกตรัมในกลุ่มธาตุโลหะ

ความหมายของกลุ่มธาตุโลหะ ในที่นี้ หมายถึงธาตุอื่น ๆ ที่จะพบได้ในบรรยากาศของดาวฤกษ์นอกจากไฮโดรเจนและฮีเลียม หลักการอธิบายก็เป็นเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อข้างต้น นั่นคือ ในดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศสูง (กลุ่มประเภทสเปกตรัม O B และ A) อะตอมของโลหะจะอยู่ในสถานะ ไอออไนซ์ที่สูงมากเกินกว่าที่จะเกิดเส้นสเปกตรัมในย่านที่ตามองเห็นได้ แต่ถ้าดูสเปกตรัมของดาว  $\alpha$  - CMi ในรูปที่ 7-9 ที่เป็นดาวฤกษ์ที่มีสเปกตรัมประเภท F5IV จะเห็นว่าปรากฏเส้นสเปกตรัมของเหล็ก (FeI) แมกนีเซียม (MgI) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaII) อยู่ด้วย ยิ่งเมื่อพิจารณาลงมาสู่ดาวฤกษ์กลุ่มที่มีอุณหภูมิต่ำลง เช่น ดวงอาทิตย์  $\alpha$  - Aur เส้นสเปกตรัมของโลหะปรากฏมากขึ้นและมีความแรงสูงขึ้นเป็นลำดับ ในที่นี้จะพิจารณาเส้นสเปกตรัมของธาตุโลหะที่เห็นความเปลี่ยนแปลงของความแรงได้ชัด ดังนี้

เส้นสเปกตรัมดูดกลืนของเหล็ก (FeI) สังเกตข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพสเปกตรัม เส้นสเปกตรัมของเหล็ก เริ่มปรากฏที่ดาวฤกษ์  $\alpha$  - CMi (Procyon) ที่อยู่ในประเภทสเปกตรัม F5IV แต่ไม่ชัดเจนนัก และเริ่มเห็นได้ชัดมากขึ้นในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม G เช่น ดวงอาทิตย์ (G2V) และเพิ่มความชัดเจนขึ้นอีกในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม K ( $\alpha$  - Boo ,  $\alpha$  - Tau) และชัดเจนอย่างยิ่งในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม M เช่น  $\alpha$  - Ori และ  $\alpha$  - Sco จะสังเกตได้ว่าความแรงของเส้นสเปกตรัมของเหล็กจะลดลงในดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้น ลักษณะนี้อาจจะพิจารณาได้

จากความหนาแน่นจำนวนของเหล็กที่สถานะไอออไนซ์ต่างๆในบรรยากาศ สมมุติว่าอะตอมของเหล็กในบรรยากาศที่อยู่ในสถานะไอออไนซ์ I คือ FeI และสถานะไอออไนซ์ II คือ FeII มีมากกว่าในสถานะไอออไนซ์อื่นมาก ดังนั้นจึงจะพิจารณาเปรียบเทียบเพียงสองชนิดเท่านั้น การไอออไนซ์ให้เหล็กเปลี่ยนสถานะจาก FeI ไปเป็น FeII ต้องการพลังงาน 7.87 อิเล็กตรอนโวลต์[2] ในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม A5V มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 7500 เคลวิน และลอการิทึมฐานสิบของความดันอิเล็กตรอน ( $\log_{10} P_e$ ) เป็น 2.3 จากสมการของสโธ เราอาจคำนวณได้ว่าความหนาแน่นจำนวนอะตอมของ FeII มีอยู่มากถึงร้อยละ 99 เมื่อเทียบกับความหนาแน่นอะตอมของเหล็กในทุกสถานะไอออไนซ์ พิจารณาต่อมาถึงดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม G5V ที่มีอุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 5000 เคลวิน และค่า  $\log_{10} P_e$  เท่ากับ 0.7 ปริมาณอะตอมของ FeII ในบรรยากาศจะลดลงเหลือเพียงแค่ประมาณร้อยละ 70 แต่ถ้าพิจารณาในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม K0 ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศประมาณ 4000 เคลวิน ค่า  $\log_{10} P_e$  เป็น 0.5 ผลคืออะตอมของเหล็กส่วนใหญ่ (ร้อยละ 90) ในบรรยากาศจะเป็นอะตอมของ FeI นั่นคือความแรงของเส้นสเปกตรัมของเหล็กจะเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำลง เนื่องจากปริมาณความหนาแน่นจำนวนของ FeI มีมากขึ้นขณะที่ในดาวที่มีประเภทสเปกตรัม A จะไม่มีโอกาสพบสเปกตรัมของ FeI เพราะอะตอมของเหล็ก (FeI) ในบรรยากาศได้ถูกไอออไนซ์ไปอยู่ในสถานะไอออไนซ์อื่นเสียเกือบหมดแล้ว

เช่นเดียวกันในกรณีเส้นสเปกตรัมของธาตุแคลเซียม (CaI) และแคลเซียมไอออน (CaII) คือถ้าพิจารณาสเปกตรัมของ Procyon ในรูปที่ 7-9 ต่อเนื่องมาถึง  $\alpha$  - Boo (รูปที่ 7-13) และ  $\beta$  - Gem (รูปที่ 7-12) รวมทั้งดวงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าในทั้ง 3 ดวงปรากฏเส้นสเปกตรัมของ CaII เด่นชัดทั้งเส้น K และ H ขณะที่ในสเปกตรัมของ  $\beta$  - Gem และดวงอาทิตย์จะปรากฏเส้นสเปกตรัมของ CaI ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 4226 อังสตรอมอยู่ด้วย และเส้นสเปกตรัมของ CaI จะมีความแรงมากในดาวฤกษ์ประเภทสเปกตรัม K และ M โดยเฉพาะเมื่อสังเกตสเปกตรัมของ  $\alpha$  - Tau ที่มีประเภทสเปกตรัม K5III จากภาพที่บันทึกมาสังเกตเห็นเส้นสเปกตรัมของ CaI ชัดเจน และก็เป็นเช่นเดียวกันในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม M (เช่น  $\alpha$  - Ori, M2I) เหตุผลก็คงจะเป็นเช่นเดียวกับในกรณีของเหล็กนั่นคือ ในดาวที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศไม่สูงนัก

เช่น ในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม K และ M อะตอมของธาตุแคลเซียมจำนวนมากอยู่ในสถานะไอออน I (CaI) จึงเป็นผลให้เส้นสเปกตรัมของ CaI ที่ 4226 อังสตรอมเด่นชัด แต่ในดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศสูงขึ้น เช่นในดาวฤกษ์ที่มีประเภทสเปกตรัม F หรือ G แคลเซียมส่วนมากจะถูกไอออนไปเป็น CaII จึงแสดงผลให้เห็นในรูปของเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ของ CaII เส้น K และ H ที่เห็นได้ชัดเจน แต่เมื่อสังเกตรูปสเปกตรัมของ  $\alpha$  - Gem (รูปที่ 7-8) และ  $\alpha$  - CMa (รูปที่ 7-7) ที่มีสเปกตรัมอยู่ในประเภทสเปกตรัม A กลับไม่พบเส้นสเปกตรัมของ CaII ที่อาจจะอธิบายได้ว่าในดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิสูงธาตุแคลเซียมจะถูกไอออนจนกระทั่งไปอยู่ในสถานะไอออนอื่นมากเสียจนไม่สามารถบันทึกภาพเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ให้เห็นอย่างชัดเจนได้

นอกจากเส้นสเปกตรัมของธาตุโลหะจะมีความแรงมากขึ้นสำหรับดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำเช่นในประเภทสเปกตรัม K และ M แล้ว ในดาวฤกษ์ที่อยู่ในประเภทสเปกตรัมทั้งสองนี้ยังแสดงแถบการดูดกลืนแสงของ TiO โมเลกุลที่ประมาณความยาวคลื่น 4761 อังสตรอม และ 4955 อังสตรอมด้วย

(ค) ความแตกต่างของเส้นสเปกตรัมเฟราน์โฮเฟอร์ในดาวฤกษ์ที่มีประเภทความสุกสว่างต่างกัน

พิจารณาสเปกตรัมของดาวฤกษ์ 2 ดวงคือ  $\alpha$  - Leo (Regulus) กับ  $\beta$  - Ori (Rigel) ทั้งสองอยู่ในประเภทสเปกตรัม B7 และ B8 ตามลำดับ ดังนั้นดาวฤกษ์ทั้งสองควรมีลักษณะสเปกตรัมเหมือนกัน แต่ Regulus เป็นดาวฤกษ์ในลำดับหลักขณะที่ Rigel เป็นดาวฤกษ์ที่มีประเภทความสุกสว่างอยู่ในกลุ่มดาวยักษ์ (super giants) ถ้าเปรียบเทียบสเปกตรัมของดาวฤกษ์ทั้งสองในรูปที่ 7-5 และรูปที่ 7-6 จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่เส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ทั้งสองดวงเหมือนกัน คือเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจน แต่เส้นสเปกตรัมของ Rigel จางและคมกว่ามาก และยังปรากฏเส้นสเปกตรัมของฮีเลียมที่ความยาวคลื่น 4471 อังสตรอม อาจจะอธิบายความแตกต่างนี้โดยอาศัยปริมาณต่างๆของบรรยากาศ ดังนี้

สำหรับ Regulus อันเป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ในลำดับหลัก อุณหภูมิยังผล (effective temperature) จะประมาณ 10,000 เคลวิน (พิจารณาเปรียบเทียบจากกรณีที่ดาวฤกษ์อยู่ในประเภทสเปกตรัม A0V จะมีอุณหภูมิ 9900 เคลวิน ขณะที่ดาวฤกษ์ที่อยู่

ในประเภทสเปกตรัม B5V มีอุณหภูมิ 15500 เคลวิน) สำหรับ Rigel จะมีอุณหภูมียังผลประมาณ 12,000 เคลวิน ซึ่งไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ข้อแตกต่างที่สำคัญของดาวฤกษ์ทั้งสองคือ ความหนาแน่นจำนวนของอิเล็กตรอน ( $N_e$ ) หรือค่าความดันของอิเล็กตรอน ( $P_e$ ) ค่า  $\log_{10} P_e$  ของ Regulus จะมีค่าประมาณ 2.6 (เป็นค่าโดยประมาณ สำหรับดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม B5V เป็น 2.7 และดาวฤกษ์ในประเภทสเปกตรัม A0V เป็น 2.5[2]) แต่ในกรณีของ Rigel ค่า  $\log_{10} P_e$  จะประมาณ 1.6 ซึ่งต่างกันถึง 10 เท่า ความแตกต่างของดาวฤกษ์ทั้งสองดวงแสดงไว้ในตารางที่ 7-2

ตาราง 7-2 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆของดาวฤกษ์ Regulus และ Rigel [2] เมื่อ

- $N$  คือ ความหนาแน่นจำนวนของแก๊สที่ชั้นเปลี่ยนแปลง  
 $P$  คือ ความดันแก๊สที่ชั้นเปลี่ยนแปลง (ได้นต์ต่อตารางเซนติเมตร)  
 $P_e$  คือ ความดันของอิเล็กตรอนอิสระในบรรยากาศ  
 $T_{eff}$  คือ อุณหภูมียังผลของดาวฤกษ์ (เคลวิน)

ค่า	Regulus	Rigel
ประเภทสเปกตรัม	B7V	B8Ia
$T_{eff}$	$\approx 1.0 \times 10^4$	$\approx 1.2 \times 10^4$
$\log_{10} N$	15.1	-
$\log_{10} P$	$\approx 3.1$ (ที่ B5)	$\approx 1.9$ (ที่ A0)
$\log_{10} P_e$	$\approx 2.6$	$\approx 1.6$

เมื่อเปรียบเทียบกันข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดคือความดันแก๊ส ( $P$ ) และความดันของอิเล็กตรอนอิสระ ( $P_e$ ) ของดาวทั้งสองที่ต่างกันประมาณ 10 เท่า ถ้าสังเกตสมการที่ (7-4) สำหรับดาวฤกษ์ทั้งสอง สมมติให้ดาวฤกษ์ทั้งสองมีอุณหภูมิของบรรยากาศเท่าๆกัน สำหรับเส้นสเปกตรัมของไฮโดรเจนในอนุกรมของบัลเมอร์ จะพบว่าในดาวฤกษ์ Rigel ความหนาแน่นจำนวนของโปรตอน (อะตอมไฮโดรเจนที่สถานะไอออไนซ์ II) มาก

กว่าในดาวฤกษ์ Regulus ถึง 10 เท่า และเพราะความหนาแน่นของแก๊สในบรรยากาศของดาวฤกษ์ทั้งสองต่างกันประมาณ 10 เท่า ดังนั้นโอกาสที่อะตอมต่างๆในบรรยากาศจะชนกันสำหรับดาวฤกษ์ Rigel ก็จะน้อยกว่าในดาวฤกษ์ Regulus ผลการกว้างขึ้นของเส้นสเปกตรัมเนื่องจากการชนกัน และจากความดันของแก๊ส จะลดลง

โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่า เหตุที่เส้นสเปกตรัมเพอร์นีย์ไฮเพอร์ของดาวฤกษ์ในกลุ่มดาวฤกษ์ยักษ์มีลักษณะคมและมีความแรงต่ำกว่าดาวฤกษ์ในลำดับหลัก เพราะ

(1) เนื่องจากความหนาแน่นจำนวนของอิเล็กตรอนอิสระภายในบรรยากาศของดาวฤกษ์ยักษ์ต่ำกว่าดาวฤกษ์ในลำดับหลักมาก สัดส่วนของอะตอมที่จะทำให้เกิดเส้นสเปกตรัมจึงมีน้อยกว่าดาวฤกษ์ในลำดับหลัก เพราะถูกไอออไนซ์ไปในสัดส่วนที่มากกว่า

(2) เพราะความดันแก๊สในบรรยากาศของดาวฤกษ์ยักษ์ต่ำกว่าดาวฤกษ์ในลำดับหลัก ผลกระทบต่อรูปลักษณะของสเปกตรัมในรูปของการกว้างขึ้นเนื่องจากการชน และความดัน จึงลดลง

#### การสังเกตการณ์และบันทึกภาพสเปกตรัมของเนบิวลาเปล่งแสง

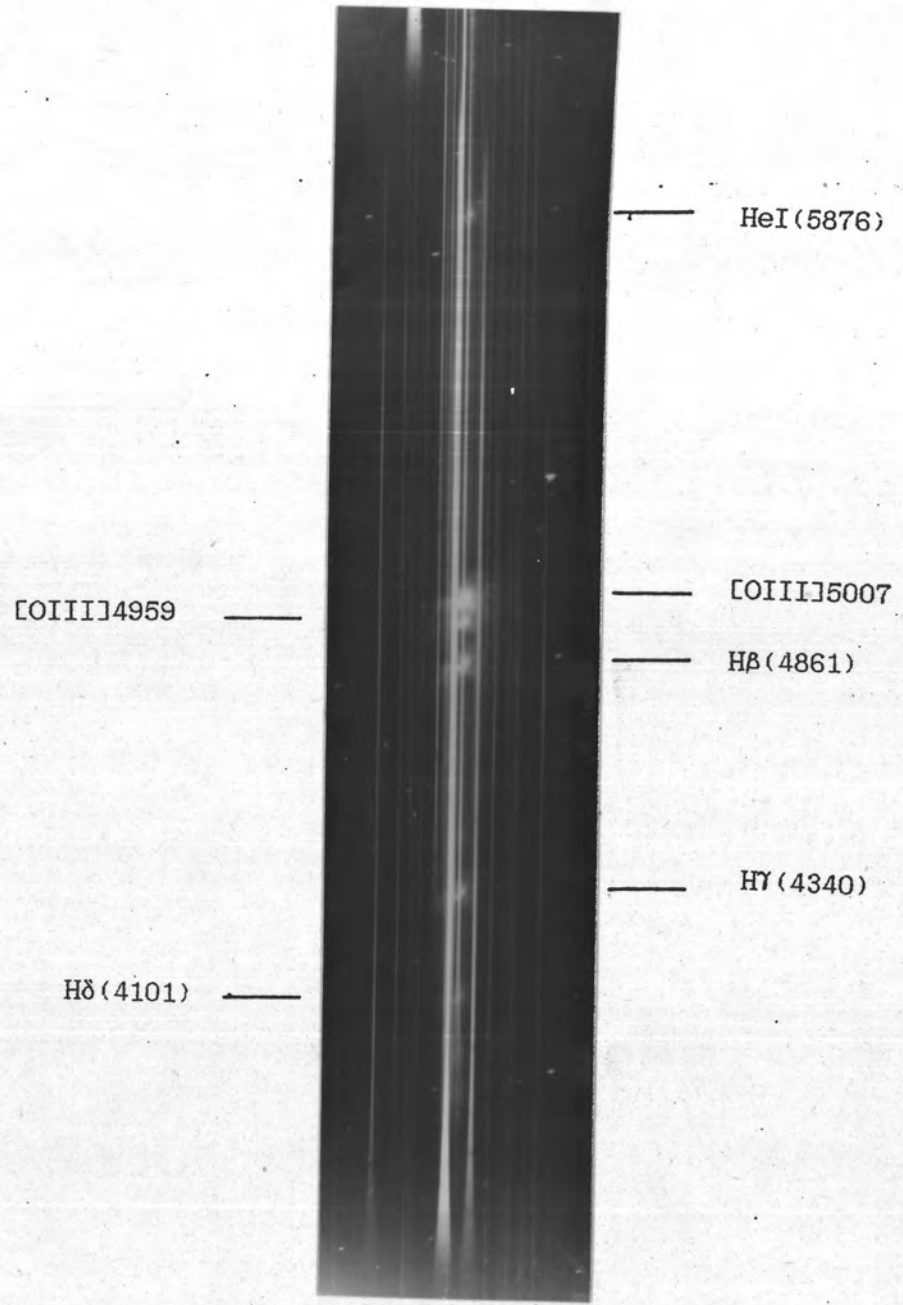
การสังเกตการณ์เพื่อเก็บข้อมูลสเปกตรัมของดาวฤกษ์ที่ได้กล่าวถึงนั้น กระจับกับเป็นช่วงที่สามารถสังเกตการณ์ เนบิวลาเปล่งแสง(emission nebula) ที่ปรากฏอยู่ในบริเวณใจกลางกลุ่มดาวนายพราน(Orion constellation) เนบิวลาเปล่งแสงในลักษณะของสเปกตรัมเปล่งออก(emission spectra)[2] จากการกระตุ้นของดาวฤกษ์ที่อยู่ในกลุ่มแก๊ส ดาวฤกษ์เหล่านี้ต้องมีประเภทสเปกตรัม O ถึง B ตาราง 7-3 แสดงให้เห็นถึงเส้นสเปกตรัมเปล่งออกที่เนบิวลาเปล่งออกมาในช่วงความยาวคลื่นแสง ความเข้มที่ลงในตารางที่ 7-3 เป็นความเข้มสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับความเข้มของเส้น H $\beta$  โดยกำหนดให้ความเข้มของเส้นสเปกตรัม H $\beta$  เป็น 100

ในตารางที่ 7-3 อะตอมหรือไอออนที่อยู่ในเครื่องหมาย[ ] หมายถึงเป็นเส้นสเปกตรัมที่เรียกว่าเส้นต้องห้าม(forbidden lines) เส้นเหล่านี้มักจะไม่มีพบในสภาพปรกติ เช่นในห้องปฏิบัติการ การบันทึกภาพสเปกตรัมของเนบิวลาเปล่งแสงนี้ ได้ทำเมื่อวันที่ 5 มกราคม 2532 โดยถ่ายภาพสเปกตรัมด้วยฟิล์มโกดัก ไตรเอกซ์-แพน ล้างฟิล์มด้วยสารทำให้เกิดภาพ D-76 นาน 8 นาทีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เสร็จแล้ว

ตารางที่ 7-3 แสดงเส้นสเปกตรัมเปล่งออกของเนบิวลานายพราน[2]

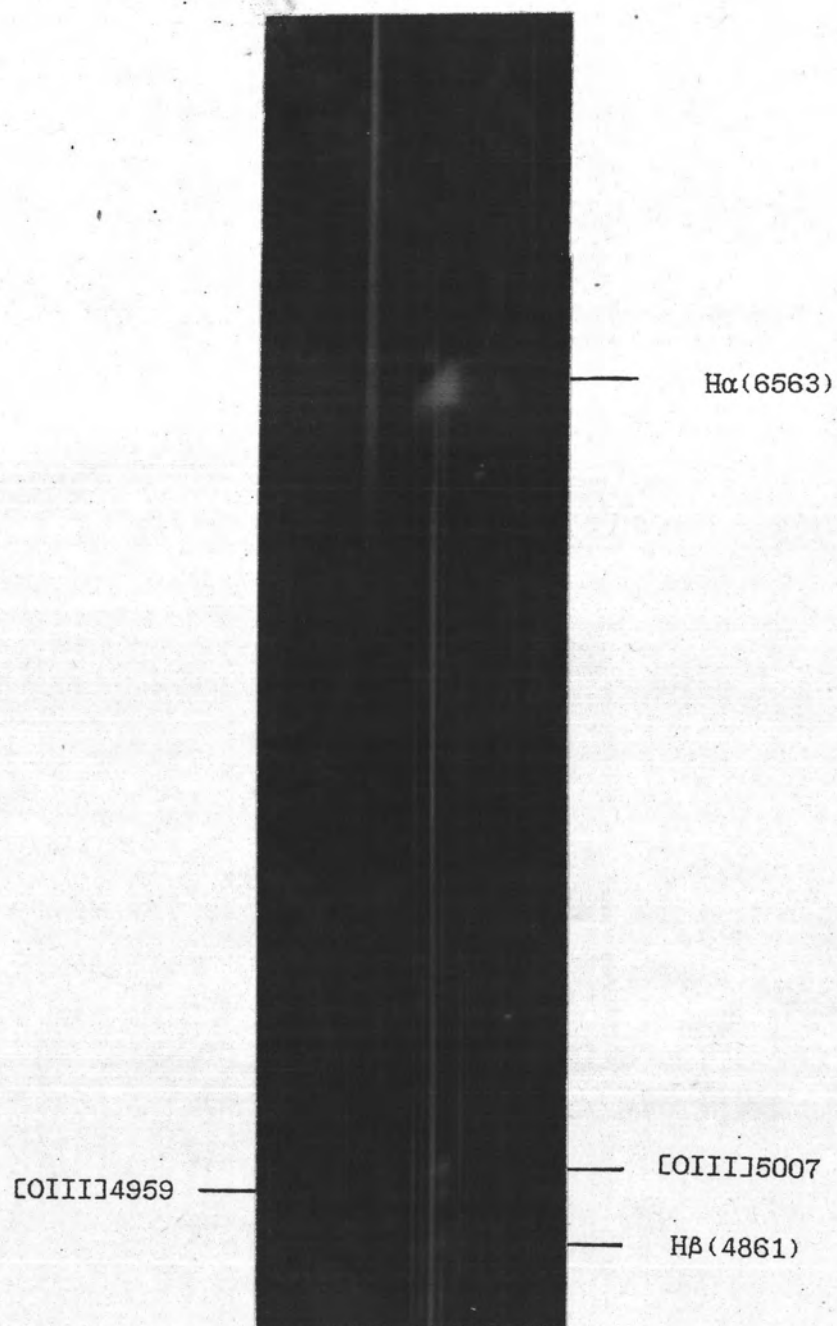
ความยาวคลื่น (อังสตรอม)	เส้นสเปกตรัมของ ธาตุหรือไอออนของธาตุ	ความเข้มสัมพัทธ์ ( $H\beta = 100$ )
3889	HI (3889), HeI (3889.6)	21
3968	[NeIII]3967.4, HI (3970.1)	20
4026	HeI	3
4101	HI (4102:H $\delta$ ), NIII (4097, 4103)	28
4340	HI (H $\gamma$ )	44
4363	[OIII]	2
4471	HeI	5
4861	HI (H $\beta$ )	100
4959	[OIII]	112
5007	[OIII]	340
5755	[NII]	15
5876	HeI	28
6302	[OI]6300, [SIII]6311	22
6364	[OI]	1
6548	[NII]	15
6563	HI (H $\alpha$ )	300

ใช้ในตัวจริง F-5 นาน 15 นาที และบันทึกภาพเมื่อวันที่ 4 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 ด้วยฟิล์มโกดักโกลด์-100 เป็นฟิล์มบันทึกภาพสี บันทึกภาพสเปกตรัมโดยเปิดหน้ากล้องนาน 20 นาที ทั้งสองครั้งบันทึกภาพโดยควบคุมกล้องโทรทรรศน์ให้ภาพของเนบิวลาอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันตลอด ภาพสเปกตรัมของเนบิวลานายพรานทั้งสองภาพได้แสดงไว้ในรูปที่ 7-19 และ รูปที่ 7-20 ดังนี้



รูปที่ 7-19 แสดงสเปกตรัมของเนบิวลานายพรานจากการสังเกตการณ์เมื่อ วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2532





รูปที่ 7-20 แสดงภาพสเปกตรัมของเนบิวลานายพรานจากการสังเกตการณ์และบันทึกภาพเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532

เหตุที่ต้องใช้ฟิล์ม โกดัก โกลด์-100 บันทึกภาพสเปกตรัมของเนบิวลาเพราะเหตุว่าฟิล์ม โกดัก ไตรเอกซ์-แพน ไม่วางแสงที่ความยาวคลื่นสีแดงจึงไม่สามารถบันทึกภาพสเปกตรัมของเนบิวลานายพรานที่ความยาวคลื่น 6563 อังสตรอม(H $\alpha$ ) จึงต้องใช้ฟิล์ม โกดัก โกลด์ ที่เป็นฟิล์มสีสามารถบันทึกภาพสเปกตรัม H $\alpha$  ได้ จากฟิล์มทั้งสองเมื่อนำมาหาตำแหน่งของแสงแต่ละความยาวคลื่นจะเห็นได้ว่ามีไม่เท่ากับในตารางที่ 7-3 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในการบันทึกภาพเปิดหน้ากล้องไม่นานพอ การรบกวนของสเปกตรัมของแสงดาวฤกษ์ใกล้เคียงและจากการไม่ใช่ช่องแคบเดี่ยว ทำให้สเปกตรัมที่ได้รับรบกวนกัน

#### สรุปการบันทึกภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์และเนบิวลาเปล่งแสง

โดยทั่วไปอุปกรณ์ที่ออกแบบและดัดแปลงขึ้น สามารถใช้เก็บข้อมูลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกระจายเชิงเส้นที่มีค่า 0.018 มิลลิเมตรต่ออังสตรอม ทำให้ภาพของสเปกตรัมที่ได้มีความละเอียดเพียงพอต่อการวิเคราะห์ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่นกันสามารถแยกได้เป็นข้อๆดังนี้

(1) ถ้าวัตถุที่ต้องการศึกษามีความสว่างไม่มาก เช่น กระจุกดาวลูกไก่ ดั้งรูปที่ 7-18 จำเป็นต้องเปิดหน้ากล้องนานมาก โอกาสที่จะควบคุมกล้องโทรทรรศน์ติดตามดาวฤกษ์และจัดให้ภาพของดาวเลื่อนเป็นเส้นในทิศใดทิศหนึ่งให้สเปกตรัมเป็นแถบจะทำได้ยาก มักจะประสบปัญหาที่การควบคุมได้เส้นการเคลื่อนที่ที่ไม่ซ้กันพอดี สเปกตรัมที่ได้จึงไม่ชัดเจนนัก โดยสรุปอุปกรณ์ชุดนี้ควรใช้ศึกษาดาวฤกษ์หรือวัตถุอื่นที่มีโชติมาตรปรากฏน้อยกว่า 4 เพื่อจะได้สเปกตรัมที่ชัดเจนพอสมควร ถ้าโชติมาตรมากกว่านี้จะต้องใช้เวลามากเกินไปกว่าที่จะติดตามดาวได้เที่ยงตรง (พิจารณาจากการประมาณโดยอาศัยโชติมาตรของดาวฤกษ์ในกระจุกดาวลูกไก่เป็นหลักเทียบ)

(2) เนื่องจากเกรตติงเป็นอุปกรณ์ที่เสียหายได้ง่ายหากใช้โดยไม่ระมัดระวังการนำมาใช้ต้องดูแลมากซึ่งเป็นปัญหาเพราะการใช้งานจริงต้องเสี่ยงกับน้ำค้าง ฝุ่น ฯลฯ ทำให้มีช่วงเวลาจำกัดเฉพาะในตอนหัวค่ำ ก่อนจะมีน้ำค้างที่รบกวนภาพสเปกตรัมได้

(3) ค่าการกระจายเชิงเส้น 0.018 มิลลิเมตรต่ออังสตรอมเป็นค่าสูงสุดที่จะได้ด้วยกล้องถ่ายรูปนี้เพราะจำกัดด้วยขนาดของฟิล์ม ถ้าการกระจายมากกว่านี้ไม่สามารถบันทึกภาพสเปกตรัมทั้งหมดลงบนฟิล์มภาพเดี่ยวได้

โดยสรุป การตัดแปลงสเปกโทรกราฟเพื่อบันทึกภาพสเปกตรัมของดาวฤกษ์และ  
เนบิวลาเปล่งแสงทำงานได้เป็นอย่างดี และยังใช้ศึกษาสเปกตรัมของวัตถุอื่น เช่น ดาวหาง  
ได้อีก ถ้าโชติมาตรปรากฏของวัตถุนั้นน้อยกว่า 4