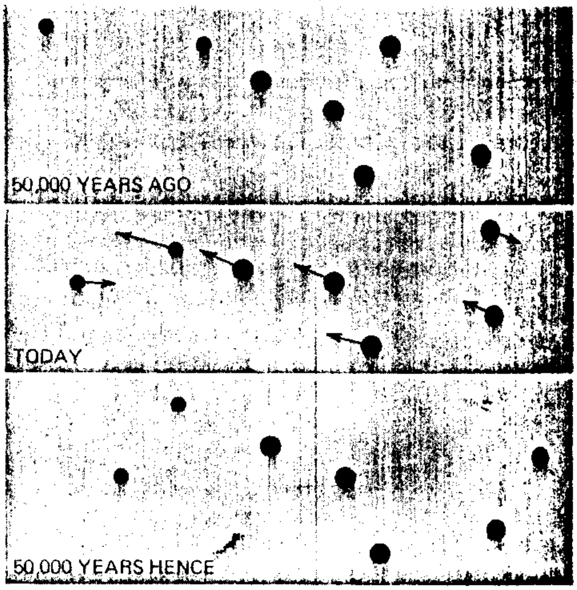
บทที่ 4
ดาวฤกษ์

4.1 การเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์

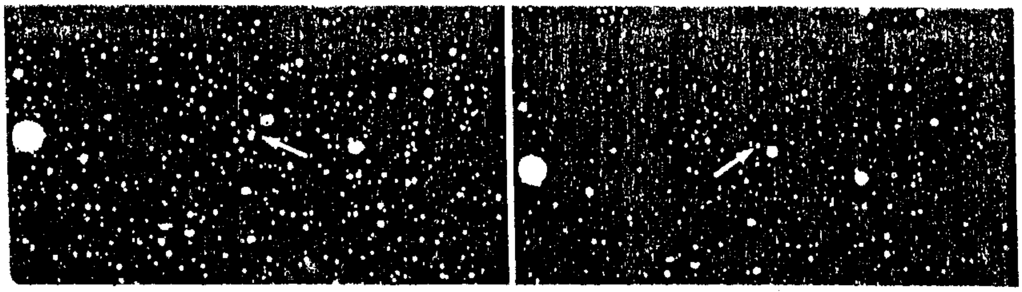
คนสมัยโบราณได้จำแนกแยกแยะระหว่างดาวเคราะห์กับดาวฤกษ์ออกจากกัน โดยอาศัยทางเดินของมันที่ดำเนินต่อไปอย่างถาวรเมื่อเทียบกับสิ่งอื่น ๆ ที่คงที่บนท้องฟ้า ดาวฤกษ์ต่าง ๆ อยู่เกือบคงที่บนท้องฟ้าโดยปรากฏเป็นกลุ่มเรียกว่า กลุ่มดาวฤกษ์ ชื่อของกลุ่มดาวฤกษ์เหล่านี้ยังคงใช้ในปัจจุบันนี้ ถึงแม้ว่าเวลาจะได้ล่วงเลยมากว่าสองพันปีแล้ว ยิ่งไปกว่านี้ดาวฤกษ์ทุกดวงกำลังเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์ เกือบทั้งหมดของมันมีความเร็วหลาย ๆ กิโลเมตรต่อวินาที การเคลื่อนที่ของมันไม่ปรากฏให้เห็นได้ด้วยตาเปล่าในช่วงชีวิตของเรา แต่ถ้าผู้สังเกตในสมัยโบราณที่มีความรู้เกี่ยวกับท้องฟ้าเป็นอย่างดี เช่น **ฮิปพาราชุส** ถ้ามีชีวิตอยู่จนถึงปัจจุบันนี้ เขาจะพบว่ามีดาวฤกษ์หลาย ๆ ดวงที่ได้เปลี่ยนตำแหน่งของมันไปเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ดวงอื่น ๆ การเปลี่ยนในตำแหน่งของดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้เราสามารถวัดได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์ในช่วงระยะเวลาเพียงสองสามปี การเคลื่อนที่ที่สำคัญของดาวฤกษ์มีดังนี้



รูปที่ 4.1 การปรากฏของกลุ่มดาวหมีใหญ่ในช่วง 100,000 ปี

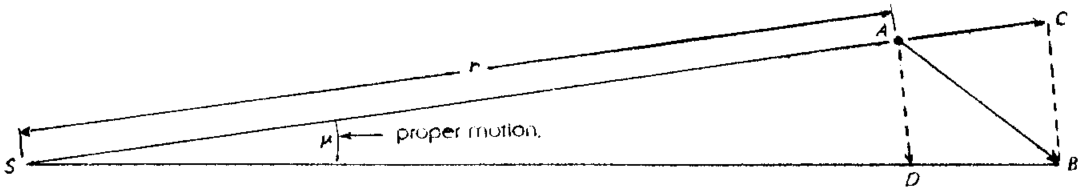
1. **การเคลื่อนที่ถูกต้อง** (proper motion)

การเคลื่อนที่ถูกต้องของดาวฤกษ์เป็นอัตราความเร็วที่ซึ่งทิศทางของมันบนท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ปกติการเคลื่อนที่ถูกต้องมีหน่วยเป็นวิลิปดาต่อปี มุมนี้มีขนาดเล็กมากที่จะวัดให้ถูกต้องในเวลาเพียงปีเดียว นักดาราศาสตร์ต้องใช้ระยะเวลา 20 ถึง 50 ปีในการวัดค่านี้ให้ถูกต้อง การวัดการเคลื่อนที่ถูกต้องให้แม่นยำนักดาราศาสตร์ใช้เทคนิคการถ่ายภาพเท่านั้น โดยการถ่ายภาพดาวฤกษ์ที่ต้องการวัด (โดยการเปรียบเทียบกับดาวฤกษ์เบื้องหลังที่อยู่ไกลมาก ๆ) สองครั้งติดต่อกัน ดังเช่นรูปที่ 4.2 เป็นการหาค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องของดาวบาร์นาร์ด (Barnard) โดยถ่ายภาพดาวบาร์นาร์ดสองครั้งห่างกัน 22 ปี ได้ค่าการเคลื่อนที่ถูกต้อง 10.″25 ต่อปี ซึ่งเป็นค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องมากที่สุด มีดาวฤกษ์เพียงสองสามร้อยดวงที่มีค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องมากกว่า 1.″0 ต่อปี ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ถูกต้องของดาวฤกษ์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีค่าน้อยกว่า 0.″1 ต่อปี อย่างไรก็ตาม ค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องของดาวฤกษ์ส่วนมากมีค่ามากกว่าค่าความคลาดตำแหน่ง (parallax) ของมัน



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายทั้งสองเป็นภาพถ่ายของดาวบาร์นาร์ดแสดงถึงการเคลื่อนที่ของมันในคาบเวลา 22 ปี

2. **ความเร็วรัศมี** (radial velocity)



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ถูกต้อง, ความเร็วรัศมี (AC) **และความเร็วเส้นสัมผัส** (AD)

ความเร็วรัศมี หรือความเร็วตามแนวเส้นสายตา (line of sight velocity) ของดาวฤกษ์เป็นอัตราความเร็วที่ซึ่งเคลื่อนที่เข้าหาหรือเคลื่อนที่ออกจากดวงอาทิตย์ ความเร็วรัศมีนี้สามารถหาได้จากปรากฏการณ์ผลดอปเพลอร์ (Doppler effect : *โปรดดูรายละเอียดในบทที่ 8*) ความเร็วรัศมีเป็นเพียงความเร็วประกอบของความเร็วที่เป็นจริง (*ดูรูปที่ 4.3*) ที่ฉายลงบนแนวเส้นสายตาซึ่งทำให้ความเร็วของดาวฤกษ์เข้าหาหรือออกจากดวงอาทิตย์ ความเร็วรัศมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่อดาวฤกษ์เคลื่อนที่ออกจากดวงอาทิตย์ และมีเครื่องหมายเป็นลบเมื่อดาวฤกษ์เคลื่อนที่เข้าหาดวงอาทิตย์ ความเร็วรัศมีของดาวฤกษ์บอกให้เราทราบว่าอัตราความเร็วที่ซึ่งระยะทางระหว่างดาวฤกษ์และดวงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์

3. ความเร็วเส้นสัมผัส (tangential velocity)

ความเร็วรัศมีเป็นการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ไปตามแนวเส้นสายตาขณะที่การเคลื่อนที่ถูกต้องได้จากการเคลื่อนที่ขวางหรือทำมุมฉากกับแนวเส้นสายตา ความเร็วเส้นสัมผัสเป็นความเร็วที่ตั้งฉากกับความเร็วรัศมี (*ดูรูปที่ 4.3*) หน่วยของความเร็วสัมผัสคือ กิโลเมตรต่อวินาที ในการหาค่าความเร็วเส้นสัมผัสของดาวฤกษ์ เราต้องรู้ทั้งค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องและระยะทางของมัน ตัวอย่างเช่น ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีค่าการเคลื่อนที่ถูกต้องเท่ากับ 1.0 ดาวฤกษ์ดวงนี้จะต้องมีความเร็วเส้นสัมผัสต่ำและอยู่ใกล้หรือมีค่าความเร็วสัมผัสสูงและอยู่ไกล

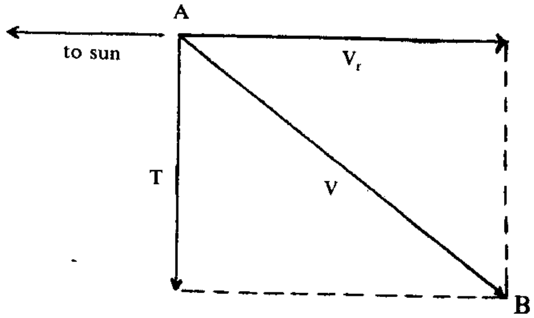
จากรูปที่ 4.3 S แทนดวงอาทิตย์, A แทนดาวฤกษ์ดวงหนึ่งอยู่ที่ระยะ r ในทิศทาง SA สมมติในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี ดาว A เคลื่อนที่จาก A ไป B ซึ่งมันจะปรากฏในทิศทาง SD ที่มุม μ (คือค่าการเคลื่อนที่ถูกต้อง) จาก SA การเคลื่อนที่ตามรัศมีของดาวฤกษ์คือ AC ซึ่งมันเคลื่อนที่เป็นระยะทาง AC ออกจากดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาหนึ่งปี, การเคลื่อนที่ตามเส้นสัมผัสคือ AD ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแนวเส้นสายตา

4. ความเร็วอากาศ (space velocity)

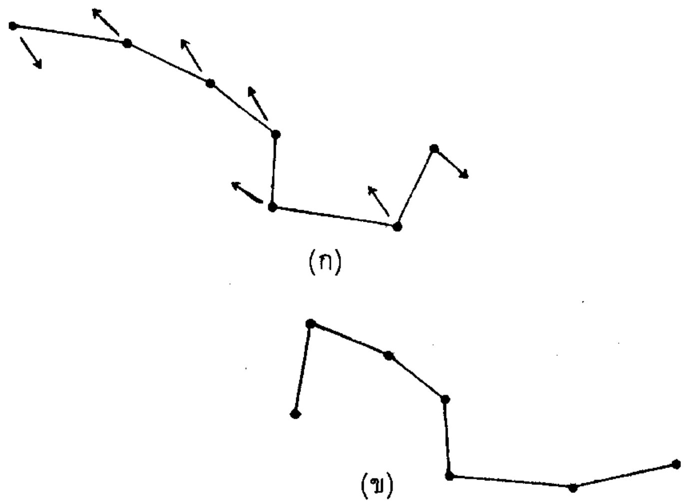
ความเร็วอวกาศของดาวฤกษ์เป็นผลรวมของความเร็วในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาที ที่ซึ่งเทียบกับดวงอาทิตย์ ความเร็วรัศมีเป็นระยะทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากดวง-อาทิตย์ในหนึ่งวินาที, ความเร็วเส้นสัมผัสเป็นระยะทางที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ตั้งฉากกับแนวเส้นสายตาในหนึ่งวินาที ความเร็วอวกาศเป็นระยะทางทั้งหมดที่ดาวฤกษ์เคลื่อนที่ในหนึ่งวินาที (*ดูรูปที่ 4.3 ประกอบ*) ซึ่งสามารถหาได้จากสามเหลี่ยมมุมฉากในรูปที่ 4.4

$$V^2 = V_r^2 + T^2 \qquad \text{..........(4.1)}$$

เมื่อ V และ V_r เป็นความเร็วอวกาศและความเร็วรัศมีตามลำดับ



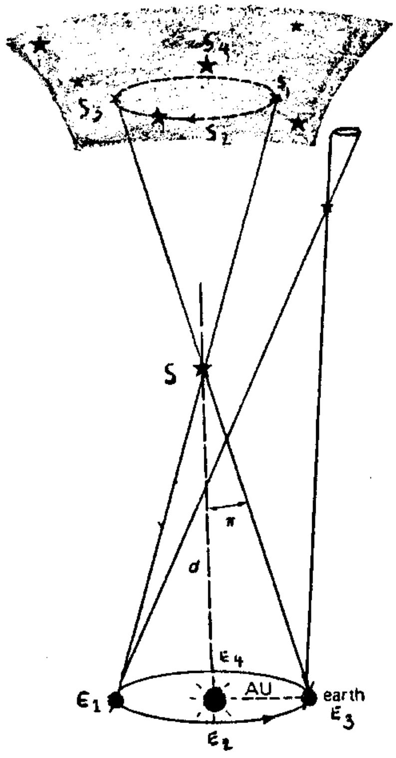
รูปที่ 4.4 การคำนวณหาความเร็วอวกาศ, ดาวฤกษ์เคลื่อนจาก A ไป B ในเวลาหนึ่งวินาที



รูปที่ 4.5 แสดงกลุ่มดาวเหนือ (ก) ปรากฏในปัจจุบันนี้ (ข) จะปรากฏอีก 100,000 ปีในอนาคต ลูกศรแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์และขนาดของการเคลื่อนที่ถูกต้องของดาวฤกษ์

4.2 ระยะทางของดาวฤกษ์

ในสมัยโบราณเมื่อมนุษย์มองดูท้องฟ้าจะเห็นวัตถุต่าง ๆ ติดอยู่บนผิวภาชนะทรงกลมใบหนึ่ง โดยมีความเชื่อว่าวัตถุเหล่านี้อยู่คงที่บนภาชนะใบนี้ **อริสโตเติล** ให้เหตุผลว่า ถ้าโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เขาจะต้องมองเห็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้มีตำแหน่งเคลื่อนที่ไปเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ที่อยู่ไกลกว่า แต่อริสโตเติลไม่สามารถค้นพบปรากฏการณ์นี้ได้ อริสโตเติลจึงสรุปว่าโลกอยู่นิ่งโดยมีภาชนะใบนี้หมุนรอบโลก ปัจจุบันนี้นักดาราศาสตร์สามารถพิสูจน์ปรากฏการณ์นี้ได้แล้ว และเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ความคลาดตำแหน่ง (parallax) รายละเอียดปรากฏการณ์ความคลาดตำแหน่งโปรดดูในหัวข้อที่ 2.3



รูปที่ 4.6 การเกิดความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ ดาว S อยู่ใกล้โลกจะมีค่าความคลาดตำแหน่งมากกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ไกล

จากรูปที่ 4.6 ถ้า d เป็นระยะทางของดาวฤกษ์จากดวงอาทิตย์ถึงดาว S

a เป็นระยะทางเฉลี่ยของโลกถึงดวงอาทิตย์

ค่า a สามารถวัดได้, π เป็นมุมความคลาดตำแหน่งของดาว S นักดาราศาสตร์สามารถวัดได้ ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาค่า d ได้โดยอาศัยหลักตรีโกณมิติ การหาระยะทางของดาวฤกษ์โดยวิธีนี้เรียกว่า ความคลาดตำแหน่งตรีโกณมิติ (trigonometric parallax) การหาระยะทางของดาวฤกษ์โดยวิธีนี้เป็นหนึ่งในหลายวิธีในการหาระยะทางของเทห์ฟากฟ้า อย่างไรก็ตาม การหาระยะทางของดาวฤกษ์โดยวิธีนี้มีขอบเขตจำกัด กล่าวคือ ถ้าดาวฤกษ์อยู่ไกลมาก ๆ ค่าความคลาดตำแหน่งจะมีค่าน้อยมาก ๆ จนไม่สามารถวัดได้ ดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด (ยกเว้นดวงอาทิตย์) คือ ดาวอัลฟา เซนเทารี (α – Centauri) อยู่ห่างจากโลก 4.3 ปีแสง มีค่าความคลาดตำแหน่งเท่ากับ 0.″76 เราจะเห็นได้ว่าค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์มีค่าน้อยมาก ในปัจจุบันนี้นักดาราศาสตร์สามารถวัดค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ได้ประมาณ 5,000 ดวง

4.2.1 หน่วยของระยะทาง

หน่วยของระยะทางของวัตถุบนพื้นผิวโลกเราใช้เป็นกิโลเมตรหรือไมล์ ถ้าเราใช้กิโลเมตรหรือไมล์เป็นหน่วยวัดระยะทางของเทห์ฟากฟ้าต่าง ๆ เราจะเห็นได้ว่าไม่สะดวกที่จะใช้ ทั้งนี้เนื่องจากเทห์ฟากฟ้าต่าง ๆ อยู่ห่างจากโลกมาก ๆ เพื่อความสะดวกจึงได้กำหนดหน่วยของระยะทางของเทห์ฟากฟ้าเป็นปีแสง (light – year), พาร์เสก (parsec) และ เอยู (au : astronomical unit) ซึ่งใช้สำหรับวัตถุทุกชนิดในระบบสุริยะของเรา

กำหนดให้ 1 เอยู = ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกถึงดวงอาทิตย์

1 เอยู = 1.496×10^{8} กิโลเมตร

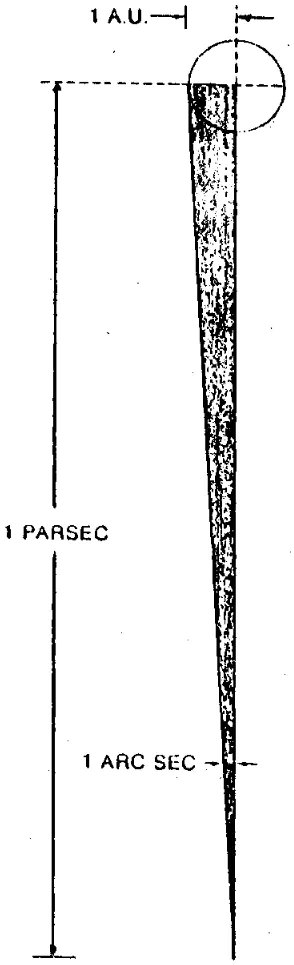
1 ปีแสง = ระยะทางที่แสงเดินทางได้หนึ่งปี

= 9.5×10^{12} กิโลเมตร

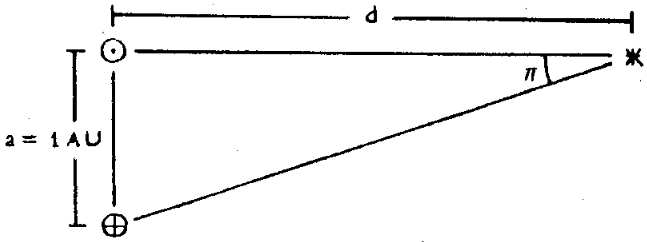
หรือ 1 ปีแสง = 6.324×10^{4} เอยู

พาร์เสก ย่อมาจากคำว่า parallax second, 1 พาร์เสก หมายถึง ระยะทางที่ความยาว 1 เอยู รองรับด้วยมุม 1 วิลิปดา *(ดูรูปที่ 4.7)*

1 พาร์เสก = 3.262 ปีแสง



รูปที่ 4.7 แสดงความยาว 1 พาร์เสก



รูปที่ 4.8 แสดงการหาระยะทางของดาวฤกษ์ต่าง ๆ โดย ⊕ แทนโลก, ⊙ แทนดวงอาทิตย์, ★ แทนดาวฤกษ์

นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหาระยะทางของดาวฤกษ์ได้โดยอาศัยการวัดค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

จากรูปที่ 4.8 กำหนดให้

$\oplus$ = โลก

$\odot$ = ดวงอาทิตย์

π = ค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ หน่วยวิลิปดา

d = ระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงดาวฤกษ์ หน่วยพาร์เสก

a = ระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์

a = 1 เอยู

ในกรณีที่ π มีค่าน้อย จะได้ว่า

$$\pi \text{ (เรเดียน)} = \frac{a}{d} \qquad \text{..........(4.2)}$$

วงกลม 1 รอบ (360°) จะมีค่า = 2π เรเดียน

จะได้ว่า 1 เรเดียน = $57^\circ\ 17'\ 44''.81$

= $206{,}265''$

จากนิยามของคำว่า พาร์เสก, 1 พาร์เสก = 206,265 เอยู

ถ้ามุม π มีหน่วยเป็นวิลิปดา และ d มีหน่วยเป็นพาร์เสก จะได้ว่า

$$d \text{ (พาร์เสก)} = \frac{1}{\pi''} \qquad \text{..........(4.3)}$$

และถ้า d มีหน่วยเป็นปีแสง จะได้ว่า

$$d \text{ (ปีแสง)} = \frac{3.26}{\pi''} \qquad \text{..........(4.4)}$$

จากสมการที่ (4.2), (4.3) จะได้ว่า

ระยะทางของดาวฤกษ์ในหน่วยปีแสง = 3.26 ระยะทางของดาวฤกษ์ในหน่วยพาร์เสก

4.2.2 การวัดระยะทางหนึ่งเอยู

ปัจจุบันนี้นักดาราศาสตร์สามารถวัดระยะทางหนึ่งเอยู โดยใช้คลื่นเรดาร์ Jet Propulsion Laboratory ใช้คลื่นเรดาร์วัดระยะทางหนึ่งเอยูได้เท่ากับ 149,597,870.0 กิโลเมตร โดยมีค่าความผิดพลาดประมาณหนึ่งกิโลเมตร การใช้คลื่นเรดาร์มีขอบเขตของความแม่นยำจำกัด เนื่องจากขนาดสัณฐานที่แม่นยำของโลกและพื้นผิวการสะท้อนคลื่นเรดาร์ของดาวเคราะห์

4.3 ความสุกสว่างของดาวฤกษ์

นักดาราศาสตร์ศึกษาถึงโครงสร้าง, ลักษณะต่าง ๆ ของดาวฤกษ์ได้ โดยการศึกษาแสงที่ดาวฤกษ์ส่งออกมาจากตัวมันเอง (ดาวเคราะห์ทั้งหลายไม่มีแสงสว่างในตัวเอง แสงสว่างที่ออกจากดาวเคราะห์เกิดจากการสะท้อนแสงอาทิตย์เข้าสู่ตาเรา) การวัดความเข้มของแสงจากดาวฤกษ์มีหลายวิธี วิธีที่ง่ายที่สุดโดยการใช้กล้องโทรทรรศน์วัดความเข้มจากแสงของดาวฤกษ์โดยตรง *(โปรดดูรายละเอียดในบทที่ 7)* อีกวิธีหนึ่งวัดความสว่างของดาวฤกษ์ได้โดยการถ่ายรูป ในการถ่ายรูปดาวฤกษ์ต่าง ๆ ถ้าเราใช้เวลาในการถ่ายภาพเท่า ๆ กัน ดาวฤกษ์ที่สว่างมากกว่าจะทำให้ฟิล์มถ่ายรูปมีสีดำมากกว่าดาวฤกษ์ที่สว่างน้อยกว่า หลังจากที่ถ่ายรูปแล้ว นักดาราศาสตร์ก็นำฟิล์มเนกาทีฟไปเข้าเครื่องอ่านค่าความดำของฟิล์ม นักดาราศาสตร์ก็จะสามารถบอกได้ว่า ดาวฤกษ์ดวงใดสว่างมากหรือน้อยขนาดเท่าใดได้ แต่วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้วิธีโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric method)

4.3.1 ความสุกสว่างและความสว่างของดาวฤกษ์

เราสามารถพิจารณาค่าสภาพส่องสว่าง (luminosity) ของดาวฤกษ์ได้ โดยอาศัยกฎของ **ชเตฟาน-โบลต์ซมันน์** (Stefan - Boltzmann's law) โดยดูจากขนาดและอุณหภูมิของฤกษ์ ถ้าดาวฤกษ์สองดวงมีขนาดเท่ากัน ดาวฤกษ์ที่ร้อนกว่าจะคายพลังงาน (ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแสงสว่าง) มากกว่าดาวฤกษ์ที่เย็นกว่า และดาวฤกษ์สองดวงที่อุณหภูมิเท่ากัน ดาวฤกษ์ที่ใหญ่กว่าจะแผ่พลังงานออกมามากกว่าดาวฤกษ์ที่เล็กกว่า

4.3.1.1 โชติมาตร

ถ้าเรามองดูท้องฟ้าในเวลากลางคืน เราจะเห็นความสว่างของดาวฤกษ์ต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ความสว่างของดาวฤกษ์ที่เรามองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเรียกว่า ความสว่างปรากฏ (apparent brightness) ของดาวฤกษ์ ในศตวรรษที่สองก่อนคริสต์ศักราช **ฮิปพาราชุส** เป็นนักดาราศาสตร์คนแรกที่ได้เสนอแคตตาล็อกของดาวฤกษ์ประมาณหนึ่งพันดวง โดยจำแนกความสว่างปรากฏของดาวฤกษ์ออกเป็น 6 ระดับ (ตั้งแต่ระดับที่ 1 ถึง 6) ระดับที่ 1 หมายถึงกลุ่มของดาวฤกษ์ที่สว่างที่สุดบนท้องฟ้า ระดับที่ 2-5 เป็นกลุ่มของดาวฤกษ์ที่มีความสว่างรองลงไปตามลำดับ ส่วนระดับที่ 6 จะเป็นกลุ่มดาวฤกษ์ที่มีความมัวมากที่สุด ซึ่งเรามองด้วยตาเปล่าเกือบไม่เห็น ปัจจุบันนี้ความสว่างปรากฏมีชื่อเรียกว่า **โชติมาตร** (magnitude) หรือ **โชติมาตรปรากฏ** (apparent magnitude)

ในปี ค.ศ. 1856 **นอร์แมน แพกสัน** (Norman Pagson) ได้เสนอระบบการจำแนกโชติมาตร ดังนี้ "อัตราส่วนของความสว่างระหว่างโชติมาตรที่เรียงกัน จะมีค่าเท่ากับรากที่ 5 ของ 100 (หรือเท่ากับ $\sqrt[5]{100}$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.512" เช่น จากตารางที่ 4.1 ดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่หนึ่งจะมีความสว่างมากกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่สอง เท่ากับ 2.512 เท่า, จะสว่างกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่สามเท่ากับ $(2.512)^2$ หรือ 6.3 เท่า, สว่างกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่ห้าเท่ากับ $(2.512)^4$ หรือ 39.8 เท่า, สว่างกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่หกเท่ากับ $(2.512)^5$ หรือ 100 เท่า และให้ดาวดวงตานกอินทรี (Altair), ดาวอัลดีบาร์น (Aldebarn) มีค่าโชติมาตรเท่ากับ 1.0 มาตราการจำแนกโชติมาตรของแพกสันยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า **ดาวฤกษ์ที่มีตัวเลขของโชติมาตรน้อยจะเป็นดาวฤกษ์ที่สว่างกว่าดาวฤกษ์ที่มีเลขโชติมาตรมาก** ค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์เป็นตัววัดความสว่างปรากฏของดาวฤกษ์เท่านั้น โดยที่มันไม่สามารถบอกถึงขนาด, อุณหภูมิ และระยะทางของมันได้

ตารางที่ 4.1

DIFFERENCE IN MAGNITUDE	RATIO OF LIGHT
0.0	1:1
0.5	1.6:1
0.75	2:1
1.0	2.5:1
1.5	4:1
2.0	6.3:1
2.5	10:1
3.0	16:1
3.5	25:1
4.0	40:1
4.5	63:1
5.0	100:1
6.0	251:1
10.0	10,000:1
15.0	1,000,000:1
20.0	100,000,000:1
25.0	10,000,000,000:1

ปัจจุบันนี้มาตราของโชติมาตรได้ขยายออกมากขึ้นทั้งทางบวกและลบ ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงให้ดาวฤกษ์ที่มีความสว่างอยู่ในโชติมาตรที่ศูนย์เป็นจุดอ้างอิง โดยการพิจารณาดาวฤกษ์บางดวงที่มีความสว่างอย่างแน่นอน เช่น ดาววีกา (Vega), ดาวคาเพลลา (Capella) เป็นต้น เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่ศูนย์ ซึ่งจะมีความสว่างเป็น 2.512 เท่าของดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่หนึ่ง และดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่ลบหนึ่งจะมีความสว่างเป็น $(2.512)^2$ หรือ 6.3 เท่าของดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่หนึ่ง สำหรับดาวโจร (Sirius) มีความสว่างประมาณสิบเท่าของดาวฤกษ์ที่อยู่ในโชติมาตรที่หนึ่ง ดังนั้นดาวโจรจึงมีค่าโชติมาตรเท่ากับ 1.0 – 2.5 หรือประมาณ –1.5 *(ดูตารางที่ 4.2)*

ตารางที่ 4.2

OBJECT	MAGNITUDE
Sun	−26.5
Full moon	−12.5
Venus (at brightest)	−4
Jupiter, Mars (at brightest)	−2
Sirius	−1.5
Aldebaran, Altair	1.0
Naked-eye limit	6.5
Binocular limit	10
15-cm telescope limit	13
5-m (visual) limit	20
5-m photographic limit	24

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าโชติมาตรของเทห์ฟากฟ้าต่าง ๆ บนท้องฟ้าที่น่าสนใจ เช่น ค่าโชติมาตรของดวงอาทิตย์ = −26.7, ค่าโชติมาตรของดวงจันทร์เต็มดวง = −12.5 เป็นต้น

ปกติตาเปล่าจะเห็นดาวฤกษ์ที่มีค่าโชติมาตรอยู่ในช่วงไม่เกิน +6, ถ้าใช้กล้องสองตาช่วยมองดูดาวฤกษ์จะเห็นดาวฤกษ์ที่มีโชติมาตรไม่เกิน +10, กล้องโทรทรรศน์ดูดาวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สามารถดูดาวฤกษ์ที่มีโชติมาตรไม่เกิน +13, กล้องโทรทรรศน์ขนาด 200 นิ้ว สามารถดูดาวฤกษ์ที่มีโชติมาตรไม่เกิน +20 และเมื่อใช้ฟิล์มถ่ายรูปที่มีความไวสูงจะสามารถวัดดาวฤกษ์ที่มีโชติมาตรประมาณ +25 ได้

4.3.1.2 โชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์

ความสว่างของดาวฤกษ์ขึ้นอยู่กับค่าสภาพส่องสว่างของดาวฤกษ์ และระยะทางที่ห่างจากโลก ถ้าดาวฤกษ์สองดวงมีสภาพส่องสว่างเท่ากัน ดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้เราจะเห็นสว่างกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ไกลออกไป และถ้าดาวฤกษ์สองดวงอยู่ห่างจากเราเท่ากัน เราจะเห็นดาวฤกษ์ที่มีสภาพส่องสว่างมากสว่างกว่าดาวฤกษ์ที่มีสภาพส่องสว่างน้อยกว่า ดังนั้น ค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์จึงไม่สามารถบอกถึงจำนวนแสงสว่างที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมาที่แท้จริงได้ เพื่อความสะดวกนักดาราศาสตร์จึงกำหนดให้มีระยะทางมาตรฐานค่าหนึ่ง เพื่อจะได้เปรียบเทียบสภาพส่องสว่างของดาวฤกษ์ต่าง ๆ ว่า ดาวฤกษ์ดวงใดมีสภาพส่องสว่างมาก ดาวฤกษ์ดวงใดมีสภาพส่องสว่างน้อย **ระยะทางมาตรฐานนี้นักดาราศาสตร์กำหนดให้ห่างจากโลกเท่ากับ 10 พาร์เสก หรือ 32.6 ปีแสง หรือประมาณ 2,000,000 เอยู** ค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์ที่ระยะทางมาตรฐานนี้มีชื่อเรียกว่า **โชติมาตรสัมบูรณ์** (absolute magnitude) **ของดาวฤกษ์** ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์ก็ได้ เช่น ดวงอาทิตย์มีระยะทางห่างจากโลกเท่ากับ 1 เอยู (หรือเท่ากับ 5×10^{-6} พาร์เสก) และค่าโชติมาตรเท่ากับ −26.7 ถ้าเราย้ายดวงอาทิตย์ไปอยู่ที่ระยะทางมาตรฐาน 10 พาร์เสก

หรือ 2,000,000 เอยู มันจะส่งแสงสว่างให้เรา $(1/2,000,000)^2$ หรือ $1/(4\times10^{12})$ ของแสงสว่างที่เราได้รับในปัจจุบันนี้ ตัวประกอบของ 4×10^{12} สอดคล้องกับค่าโชติมาตรประมาณ $31\frac{1}{2}$ แต่ค่าโชติมาตรของดวงอาทิตย์เท่ากับ -26.7 ดังนั้นค่าโชติมาตรของดวงอาทิตย์ที่ระยะทางมาตรฐาน 10 พาร์เสกเท่ากับ 5 นั่นคือ ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดวงอาทิตย์ประมาณเท่ากับที่ดวงอาทิตย์มีลักษณะริบหรี่มากจนแทบจะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ดาวไรเจล (Rigel) มีระยะทางห่างจากโลกประมาณ 300 พาร์เสก มีค่าโชติมาตรเท่ากับ 0.0 ถ้าเราคิดค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวไรเจลจะมีค่าเท่ากับ -7.5 ดาวฤกษ์ส่วนมากมีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง +15

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโชติมาตรกับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ สามารถเขียนได้ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$m = M + 5\log(d/10) \qquad \text{..........(4.5)}$$

เมื่อ m = ค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์

M = ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์

$\log$ = ลอการิทึม มีฐานเป็น 10

d = ระยะทางของดาวฤกษ์ หน่วยพาร์เสก

ปริมาณ $5\log(d/10)$ มีชื่อเรียกว่า ระยะทางมอดูลัส (distance modulus) ระยะทางมอดูลัสขึ้นอยู่กับระยะทางของดาวฤกษ์เท่านั้น

ตัวอย่างเช่น

ดวงอาทิตย์มีค่าโชติมาตร = -26.7 และมีระยะทางประมาณ 5×16^{-6} พาร์เสก

ต้องการหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดวงอาทิตย์ จากสมการ (4.5) แทนค่าต่าง ๆ จะได้

$$-26.7 = M + 5\log(5\times10^{-6}/10)$$

$$M = 4.56$$

ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดวงอาทิตย์ = 4.56

ดาวไรเจลมีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ = -7.5 มีระยะทางห่างจากโลกประมาณ 300 พาร์เสก ค่าโชติมาตรหาได้โดยแทนค่าในสมการที่ (4.5)

$$m = -7.5 + 5\log(300/10)$$

$$= 0.0$$

ค่าโชติมาตรของดาวไรเจล = 0.0

4.4 สีของดาวฤกษ์

ดาวฤกษ์ทุกดวงจะปล่อยพลังงานออกมาทุก ๆ ความยาวคลื่นของแสง แต่มีปริมาณไม่เท่ากัน เช่น ดาวฤกษ์ที่มีสีแดงจะปล่อยพลังงานในช่วงความยาวคลื่นสีแดงมาก ความสว่างของดาวฤกษ์ขึ้นอยู่กับสีของดาวฤกษ์ที่เราสังเกตเห็น ทั้งนี้เนื่องจากตาของเรามีความไวต่อแสงสีต่าง ๆ ไม่เท่ากัน **ตาของเรามีความไวต่อแสงสีเหลือง-เขียวมากที่สุด** ดังนั้นดาวฤกษ์ที่ปล่อยพลังงานในรูปของแสงสีแดงมากที่สุด เราจะมองเห็นมัวกว่าดาวฤกษ์ที่ให้แสงสีเหลือง-เขียวมากที่สุด

สมมติว่า มีดาวฤกษ์สองดวงให้ปริมาณทั้งหมดของพลังงานแสงผ่านเข้าไปในกล้องโทรทรรศน์อันหนึ่ง และแสงของดาวฤกษ์แต่ละดวงมีความยาวคลื่นเท่ากันหมด แต่ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งปล่อยแสงออกมาในช่วงสเปกตรัมสีน้ำเงินมาก และอีกดวงหนึ่งในช่วงสเปกตรัมสีเหลืองมาก ถ้าดาวฤกษ์ทั้งสองดวงถูกสังเกตโดยการมองด้วยตา (โดยการมองดูดาวฤกษ์ทั้งสองผ่านกล้องโทรทรรศน์) ดาวฤกษ์ดวงที่ให้เส้นสเปกตรัมสีเหลืองมากจะปรากฏสว่างกว่าดาวฤกษ์ที่ให้เส้นสเปกตรัมสีน้ำเงินมาก ดังนั้นตัวเลขของโชติมาตรของดาวฤกษ์สีน้ำเงินจึงมีมากกว่า (หมายความว่ามีความมัวกว่า) ค่าโชติมาตรที่ได้จากวิธีการนี้มีชื่อเรียกว่า **โชติมาตรแห่งการเห็น** (visual magnitude) แต่ถ้าเราถ่ายภาพดาวฤกษ์ทั้งสองโดยใช้แผ่นฟิล์มที่มีความไวต่อแสงสีน้ำเงิน-ม่วง ผลปรากฏว่าดาวฤกษ์สีน้ำเงินปรากฏสว่างกว่าและมีค่าโชติมาตรน้อยกว่า การวัดค่าโชติมาตรโดยวิธีนี้มีชื่อเรียกว่า **โชติมาตรแห่งการถ่ายภาพ** (photographic magnitude : B) แต่ถ้าใช้แผ่นฟิล์มที่มีความไวต่อแสงสีเหลือง-เขียวถ่ายภาพดาวฤกษ์ทั้งสอง ผลปรากฏว่าดาวฤกษ์สีเหลืองจะมีความสว่างกว่าและมีค่าโชติมาตรน้อยกว่า วิธีการวัดค่าโชติมาตรนี้มีชื่อเรียกว่า **โชติมาตรแห่งการถ่ายภาพ - การเห็น** (photovisual magnitude : V) ความแตกต่างของสองวิธีที่ใช้วัดความสว่างของดาวฤกษ์โดยใช้ฟิล์มถ่ายรูปที่มีความไวต่อแสงสีต่างกัน เราสามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการวัดสี, อุณหภูมิของดาวฤกษ์ เป็นต้น ค่าความแตกต่างของความสว่างทั้งสองวิธีนี้มีชื่อเรียกว่า **ค่าดัชนีสีของดาว** (color index of star หรือเท่ากับ $B-V$) ถ้าค่าดัชนีสีของดาวมีค่าเป็น **ลบ** แสดงว่าตัวเลขของ B มีค่าน้อยกว่าตัวเลขของ V หมายถึงสีของดาวฤกษ์ค่อนไปทางสีน้ำเงิน และถ้าค่าดัชนีสีของดาวมีค่าเป็น **บวก** แสดงว่าตัวเลขของ B มีค่ามากกว่าตัวเลขของ V หมายถึงสีของดาวฤกษ์ค่อนไปทางสีแดง นั่นคือดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินแก่จะมีค่าดัชนีสีของดาวเป็นลบ ในขณะที่ดาวฤกษ์ที่มีสีแดงจะมีค่าดัชนีของดาวเป็นบวก เนื่องจากสีของดาวฤกษ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ เพราะฉะนั้นค่าดัชนีสีของดาวจึงสามารถใช้วัดอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ได้ โดยให้ดาว

ฤกษ์ที่มีค่าดัชนีสีของดาวเท่ากับ 0.0 เป็นดาวฤกษ์ที่มีสีขาวและอุณหภูมิที่พื้นผิวเท่ากับ 10,000 เคลวิน (เคลวิน = องศาเซลเซียส + 273) ค่าดัชนีสีของดาวมีค่าตั้งแต่ −0.6 (สำหรับดาวฤกษ์ที่มีสีน้ำเงินมากที่สุด และมีอุณหภูมิที่พื้นผิว = 25,000 เคลวิน) ถึง 2.0 (สำหรับดาวฤกษ์ที่มีสีแดงมากที่สุด และมีอุณหภูมิที่พื้นผิว = 3,000 เคลวิน)

4.5 การจำแนกเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์

ประมาณปี ค.ศ. 1665 **นิวตัน** (Newton) ได้แสดงให้เห็นว่า แสงสีขาวประกอบด้วยสีรุ้ง 7 สี *(ดูรายละเอียดในบทที่ 8)* และแสงสีหรือความยาวคลื่นเหล่านี้สามารถแยกออกได้โดยการผ่านแสงสีขาวเข้าไปในกระจกปริซึม **วิลเลียม วอลลัสตัน** (William Wollaston) เป็นคนแรกที่สังเกตเห็นเส้นสีดำในแถบสเปกตรัมสุริยะ ต่อมา **โยเซฟ เฟราน์โฮเฟอร์** (Josept Fraunhofer) ได้ทำรายชื่อประมาณ 600 เส้นสีดำเหล่านี้ ต้นปี ค.ศ. 1823 เฟราน์โฮเฟอร์ได้สังเกตเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์พบว่าเหมือนกับเส้นสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ ซึ่งเส้นสเปกตรัมเหล่านี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะของธาตุต่าง ๆ โดยเส้นสีดำปรากฏในแถบสเปกตรัมต่อเนื่อง **เซอร์วิลเลียม ฮักกิน** (Sir William Huggin) ในปี ค.ศ. 1864 เป็นคนแรกที่วิเคราะห์เส้นสเปกตรัมจากดาวฤกษ์ซึ่งเปรียบเทียบกับเส้นสเปกตรัมจากธาตุต่าง ๆ บนโลก ดาวฤกษ์ส่วนใหญ่จะให้เส้นสเปกตรัมเป็นแบบชนิดที่เรียกว่า เส้นสเปกตรัมของการดูดกลืน *(ดูรายละเอียดในบทที่ 8)* ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวดาวฤกษ์ร้อนและล้อมรอบด้วยบรรยากาศที่เย็นกว่า ประมาณปี ค.ศ. 1863 นักดาราศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ **เปร์โทร เสกชี** (Pietro Secchi) สามารถแยกเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ออกเป็นสี่กลุ่ม

ปัจจุบันนี้นักดาราศาสตร์แบ่งเส้นสเปกตรัมตามอุณหภูมิที่ลดลงไปของดาวฤกษ์ออกเป็น 7 กลุ่ม ซึ่งเรียกว่า ชั้นสเปกตรัม (spectral class) โดยเริ่มจากดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิสูงสุดจนถึงต่ำสุดดังนี้ O, B, A, F, G, K, M (อักษรเหล่านี้สามารถจำได้ง่าย ๆ ดังนี้ "Oh, Be, A Fine Girl Kiss Me!") โดยดาวฤกษ์ที่ร้อนจัดที่สุดมีสีน้ำเงิน อุณหภูมิที่พื้นผิวมากกว่า 25,000 เคลวิน เส้นสเปกตรัมมีแต่เพียงเส้นของฮีเลียมไอออนและไอออนของอะตอมธาตุอื่น ๆ ที่เด่นชัด ในขณะที่ดาวฤกษ์ในชั้น M เป็นดาวฤกษ์ที่เย็นมีสีแดง อุณหภูมิที่พื้นผิวน้อยกว่า 3,500 เคลวิน ในแต่ละชั้นสเปกตรัมยังแบ่งเป็นชั้นย่อย ๆ ได้อีก 10 อันดับ คือ

O0, O1, O2, O3, ..., O8, O9

B0, B1, B2, B3, ..., B8, B9

.
.
.

M0, M1, M2, M3, ..., M8, M9

ดาวฤกษ์ทุกดวงบนท้องฟ้าสามารถจำแนกอยู่ในชั้นสเปกตรัม 7 ชั้นนี้ ตารางที่ 4.3 ได้แสดงลักษณะเด่นของชั้นสเปกตรัมแต่ละชั้น

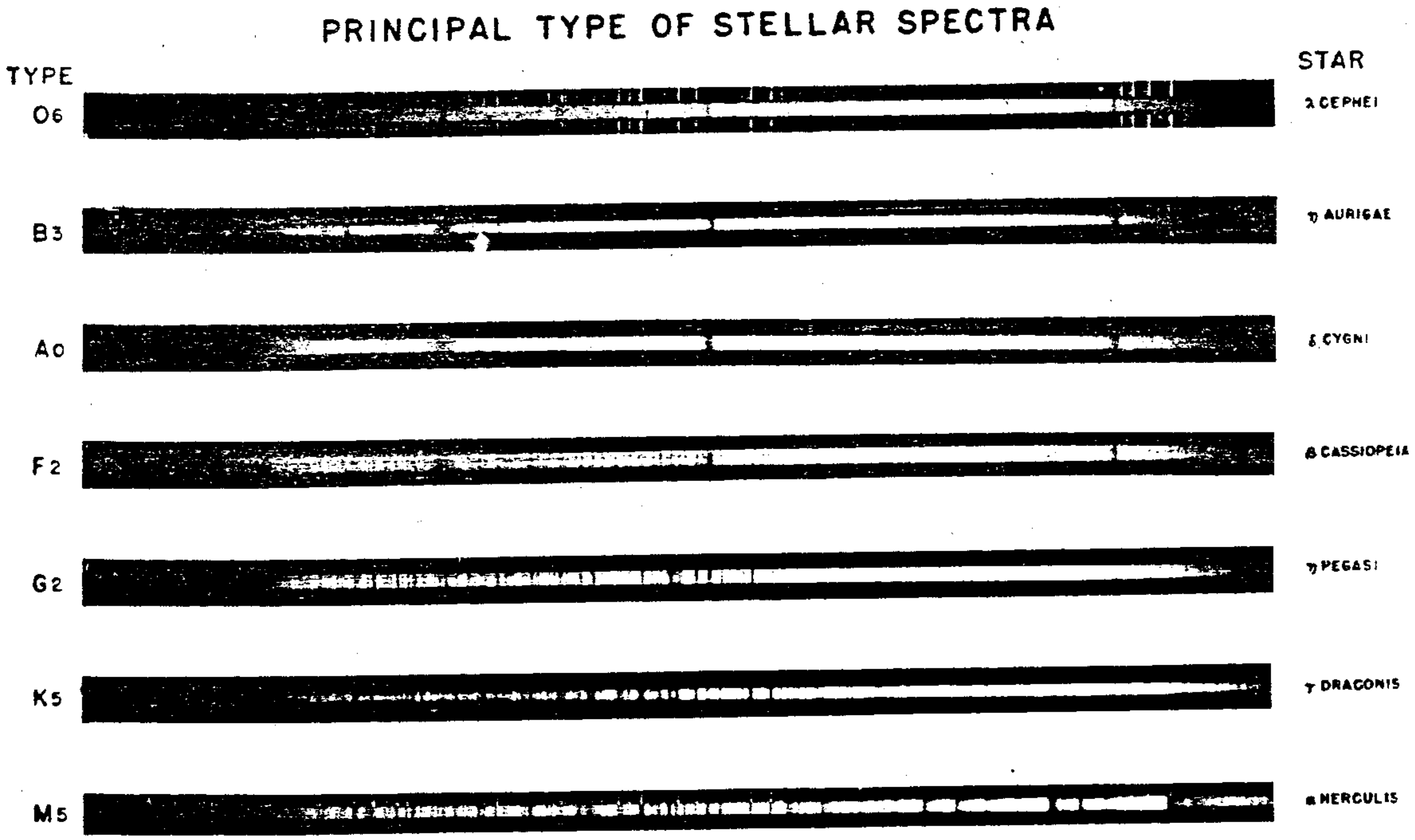
4.6 แผนภาพเฮิร์ทสปรุง - รัสเซลล์

ในปี ค.ศ. 1911 นักดาราศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ชื่อ **เอ็จนาร์ เฮิร์ทสปรุง** (Ejnar Hertzsprung) ได้เขียนกราฟระหว่างค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์กับชั้นสเปกตรัมหรือดัชนีสีของดาว อีกสองปีต่อมางานชิ้นนี้ได้กระทำอย่างอิสระโดยนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกา ชื่อ **เฮนรี นอริส รัสเซลล์** (Henry Norris Russell) ปรากฏผลตรงกัน นักดาราศาสตร์ทั้งสองท่านได้สร้างความสำคัญทางด้านดาราศาสตร์เป็นอย่างมาก เป็นการค้นพบครั้งสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างสภาพส่องสว่างกับอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ กราฟนี้มีชื่อเรียกว่า แผนภาพเฮิร์ทสปรุง - รัสเซลล์ (Hertzsprung - Russell diagram) หรือ แผนภาพเฮช - อาร์ (H-R diagram)

ตารางที่ 4.3 Summary of Spectral Class Features

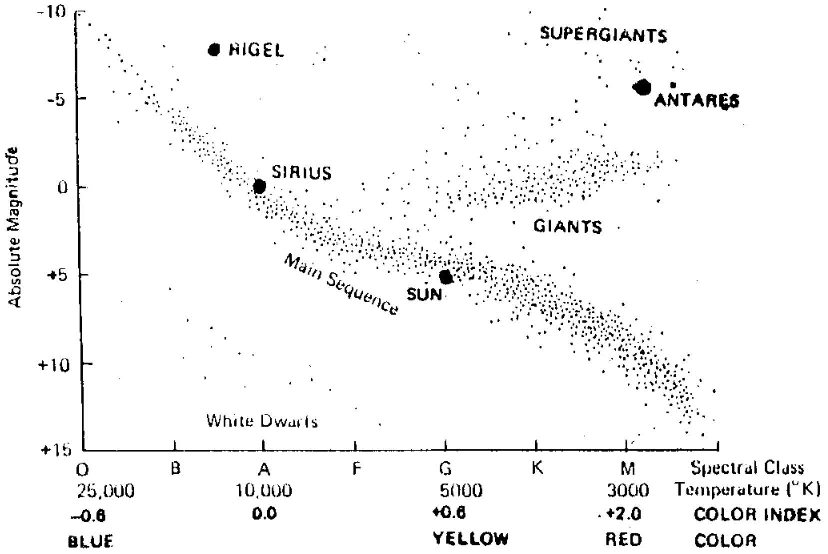
Summary of Spectral Class Features

Spectral Class	Color	Temperature (°K)	Spectral Features	Example Stars
O	Blue	Greater than 25,000°	Singly ionized helium, doubly ionized nitrogen, triply ionized silicon	λ Orionis 10 Lacertae
B	Blue	11,000–25,000°	Neutral helium, singly and doubly ionized silicon, singly ionized oxygen and magnesium; weak hydrogen lines	Rigel Spica
A	Blue	7,500–11,000°	Strong hydrogen lines; some weak lines of neutral and ionized metals	Sirius Vega
F	Bluish white	6,000–7,500°	Moderately strong hydrogen lines; lines of neutral and ionized metals	Canopus Procyon
G	Yellowish white	5,000–6,000°	Very conspicuous ionized calcium; many lines of neutral and ionized metals	Sun Capella
K	Orange	3,500–5,000°	Dominating neutral metals	Arcturus Aldebaran
M	Red	Less than 3,500°	Neutral metals and molecular bands of titanium oxide	Betelgeuse Antares



รูปที่ 4.9 แสดงเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ในระดับชั้นสเปกตรัมต่าง ๆ ซ้ายมือแสดงระดับชั้นสเปกตรัมต่าง ๆ ของดาวฤกษ์ ส่วนทางขวามือคือชื่อของดาวฤกษ์ที่อยู่ในระดับชั้นสเปกตรัมต่าง ๆ

แผนภาพเฮช-อาร์ เป็นการเขียนระหว่างค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (หรือสภาพส่องสว่าง) ของดาวฤกษ์อยู่ในแกนตั้งกับชั้นสเปกตรัมหรือดัชนีสี (หรืออุณหภูมิ) ของดาวฤกษ์ซึ่งอยู่ในแกนนอน ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แต่ละจุดแทนด้วยดาวฤกษ์ ลักษณะเด่นของกราฟเฮช-อาร์ คือ ดาวฤกษ์มีการกระจายอย่างมีระบบ เราสามารถแบ่งกลุ่มดาวฤกษ์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1. กลุ่มดาวอันดับตามกันส่วนใหญ่ (main sequence stars) 2. กลุ่มดาวยักษ์ (giant stars) 3. กลุ่มดาวแคระสีขาว (white dwarf stars)



รูปที่ 4.10 แผนภาพเฮิร์ทสปรุง-รัสเซลล์ พร้อมทั้งตัวอย่างดาวฤกษ์ที่อยู่ในแผนภาพนี้

กลุ่มดาวอันดับตามกันส่วนใหญ่ได้แก่ ดาวฤกษ์ที่อยู่ในแถบเส้นทแยงมุมในแผนภาพเฮช-อาร์ ดาวฤกษ์ส่วนใหญ่ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนท้องฟ้าจะอยู่ในกลุ่มนี้ รวมทั้งดวงอาทิตย์ของเราด้วย ซึ่งมีชั้นสเปกตรัม G2, มีสีเหลือง, ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ +5 และปรากฏตรงกึ่งกลางของแผนภาพฯ ดาวฤกษ์ที่อยู่มุมบนซ้ายมือของแผนภาพฯ จะเป็นดาวฤกษ์ที่มีสภาพส่องสว่างมากที่สุด, มีอุณหภูมิที่พื้นผิวมากกว่า 25,000 เคลวิน, มีสีน้ำเงินอยู่ในชั้นสเปกตรัม 0 และมีค่าดัชนีสี −0.6 ส่วนดาวฤกษ์ที่อยู่มุมล่างขวามือของแผนภาพฯ จะเป็นดาวฤกษ์ที่เย็น, อุณหภูมิที่พื้นผิวต่ำกว่า 3,000 เคลวิน, มีสีแดง, มัวโดยมีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ +15 จากความรู้ในปัจจุบันพบว่า ดาวฤกษ์ที่อยู่ภายในระยะสองสามพาร์เสกจากดวงอาทิตย์ไม่พบดาวฤกษ์ประเภทดาวยักษ์หรือดาวยักษ์ใหญ่ (super giant stars) ประมาณการได้ว่า ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของดาวฤกษ์ที่อยู่ในส่วนของอวกาศของเราอยู่ในกลุ่มดาวอันดับตามกันส่วนใหญ่

และประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นดาวแคระสีขาว และน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์เป็นดาวยักษ์หรือดาวยักษ์ใหญ่

ดาวยักษ์เป็นกลุ่มดาวฤกษ์ที่อยู่ทางมุมบนขวามือของแผนภาพฯ ที่มุมบนสุดทางขวามือของแผนภาพฯ เป็นดาวฤกษ์ที่มีสภาพส่องสว่างสูงกว่า มีชื่อเรียกว่า ดาวยักษ์ใหญ่ ดาวฤกษ์กลุ่มนี้มีอุณหภูมิที่พื้นผิวเย็นประมาณ 3,000 เคลวิน แต่มีภาพส่องสว่างมากกว่าดวงอาทิตย์ 10,000 เท่า ดาวฤกษ์เหล่านี้มีขนาดใหญ่มาก ตัวอย่างเช่น ดาวดวงแก้ว (arcturus), เบเทลเกียส (betelgeuse), อัลดีบาราน (aldebaran) และดาวปาริชาติ (antares) ขนาดของดาวฤกษ์กลุ่มนี้สามารถเทียบได้ง่าย ๆ โดยการนำดาวดวงหนึ่งในกลุ่มนี้ไปแทนที่ดวงอาทิตย์ในระบบสุริยะของเรา พื้นผิวของดาวฤกษ์นี้จะครอบคลุมไปจนถึงทางโคจรของดาวอังคาร ดาวยักษ์มีความหนาแน่นเฉลี่ยต่ำที่สุด

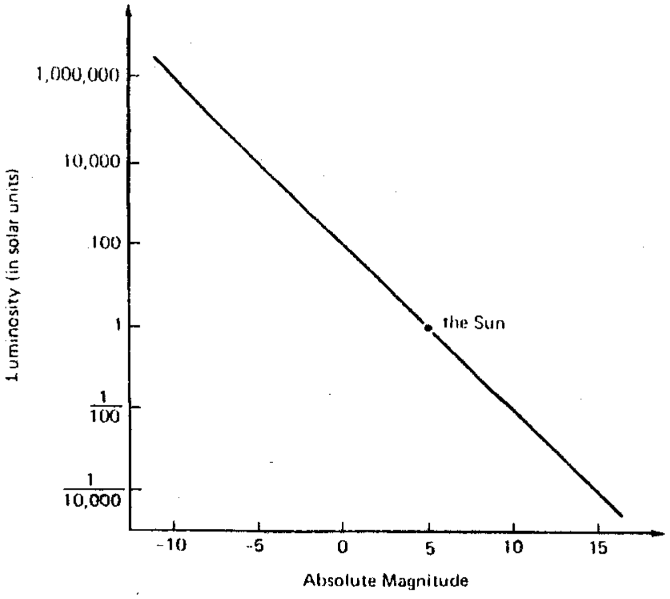
กลุ่มดาวฤกษ์สุดท้ายเป็นกลุ่มดาวแคระสีขาวซึ่งอยู่ทางมุมล่างซ้ายของแผนภาพฯ ดาวฤกษ์กลุ่มนี้มีอุณหภูมิพื้นผิวประมาณ 10,000 เคลวิน, สีค่อนข้างขาว การที่ดาวฤกษ์พวกนี้มีสภาพส่องสว่างต่ำทั้งที่มีอุณหภูมิที่พื้นผิวสูง แสดงให้เห็นว่าดาวฤกษ์เหล่านี้มีขนาดเล็กมาก โดยมีขนาดประมาณเกือบเท่าโลก บางดวงขนาดอาจจะเท่ากับดาวพุธ ดาวแคราะสีขาวถูกค้นพบครั้งแรกเป็นดาวประกบของดาวโจร (หรือดาวซิริอุส) ดาวประกบของดาวโจรมีมวลประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ของดวงอาทิตย์ จากอุณหภูมิและสภาพส่องสว่าง นักดาราศาสตร์สามารถหาเส้นผ่านศูนย์กลางของมันเท่ากับประมาณเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ หรือประมาณสองเท่าของโลก ความหนาแน่นเฉลี่ยของมันมากกว่า 100,000 เท่าของดวงอาทิตย์ และเป็นหกล้านเท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดาวแคระสีขาวบางดวงมีความหนาแน่นเฉลี่ยสูงกว่านี้ มวลของดาวแคระสีขาวขนาดหนึ่งช้อนชาจะมีน้ำหนักเกือบเท่ากับ 50 ตัน

นักดาราศาสตร์สามารถใช้แผนภาพเฮช - อาร์ ศึกษาถึงดาวฤกษ์ต่าง ๆ ได้หลายอย่าง คือ

1) ถ้าเทียบสภาพส่องสว่างของดาวฤกษ์กับสภาพส่องสว่างสุริยะ (solar luminosity) โดยให้สภาพส่องสว่างสุริยะ = 1 ถ้าเราเขียนกราฟระหว่างสภาพส่องสว่าง (ในหน่วยของดวงอาทิตย์) อยู่ในแกนตั้งกับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์ซึ่งอยู่ในแกนนอน เราจะได้กราฟดังรูปที่ 4.11 สภาพส่องสว่างของดาวฤกษ์เมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์จะมีค่าตั้งแต่ 1/10,000 เท่าของดวงอาทิตย์ จนถึง 1 ล้านเท่าของดวงอาทิตย์ (ดวงอาทิตย์มีค่าสภาพส่องสว่าง = 1 และค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ = 4.56)

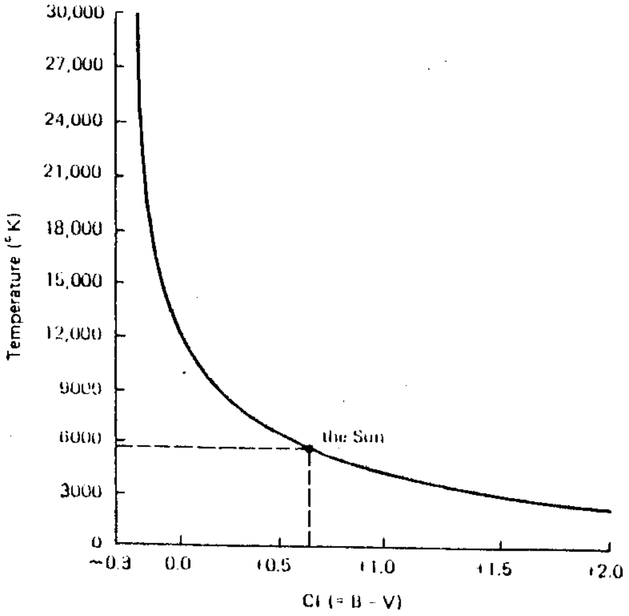
2) ในกราฟแผนภาพเฮช-อาร์ ถ้าให้แกนนอนเป็นค่าชั้นสเปกตรัม (จากชั้น O ถึง M) เนื่องจากชั้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ ดังนั้นนักดาราศาสตร์สามารถใช้มาตราบนแกนนอนแทนได้ด้วยอุณหภูมิพื้นผิว (ช่วงตั้งแต่ 25,000 เคลวิน ลงไปจน

ถึง 3,000 เคลวิน) จุดประสงค์อันที่ 3 คือ การพิจารณาสีของดาวฤกษ์ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ ดาวฤกษ์ที่มีสีแดงเรื่อ ๆ จะเป็นดาวฤกษ์ที่เย็น ในขณะที่



รูปที่ 4.11 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพส่องสว่างสุริยะ กับค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์ ค่าสภาพส่องสุริยะของดวงอาทิตย์ = 1

ดาวฤกษ์ที่มีสีค่อนไปทางสีน้ำเงินเป็นดาวฤกษ์ประเภทที่ร้อนมาก ถ้าพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวกับค่าดัชนีสี (B – V) ของดาวฤกษ์ จะได้กราฟรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าดัชนีสีกับค่าอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์

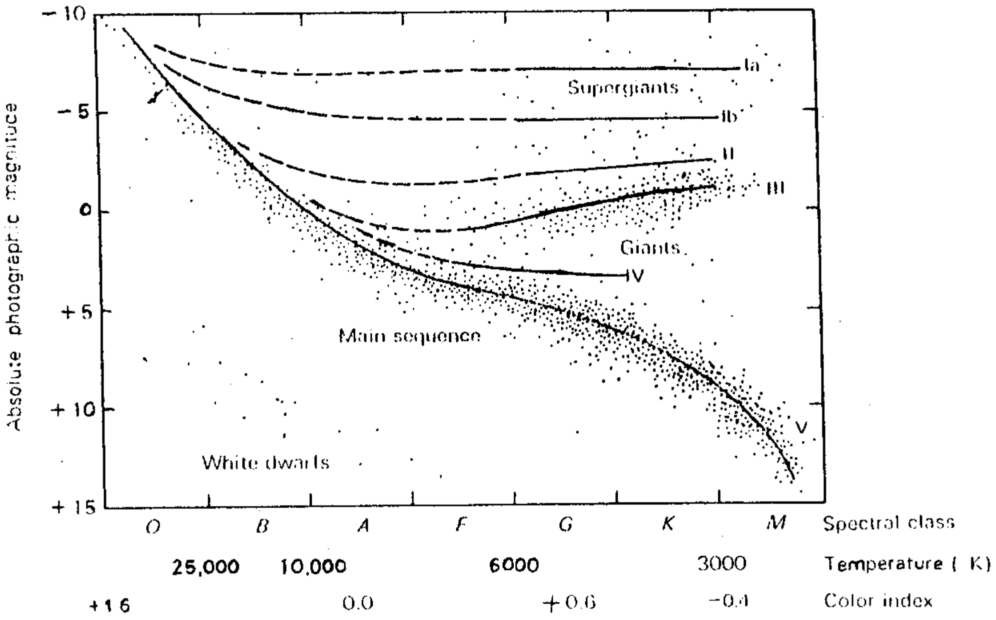
จากกราฟรูปที่ 4.12 แกนนอนเป็นแกนดัชนีสี, B − V, แกนตั้งเป็นแกนอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ ดาวฤกษ์ที่สว่างจะอยู่ด้านบน ในขณะที่ดาวฤกษ์ที่มัวจะอยู่ด้านล่างและดาวฤกษ์ที่ร้อนอยู่ทางซ้ายมือ ดาวฤกษ์ที่เย็นจะอยู่ทางขวามือ

นักดาราศาสตร์ได้ศึกษาถึงผลของโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์ที่มีต่อเส้นสเปกตรัม เช่น ดาวสองดวงมีชั้นสเปกตรัมเดียวกัน แต่เส้นสเปกตรัมมีความเข้มและความคมต่างกัน **มอร์แกน** (W. Morgan) และ **คีแนน** (P. Keenan) แห่งหอดูดาวเยอร์ส (Yerkes Observatory) ได้ตั้งระบบขึ้นใหม่ เรียกว่า ระบบมอร์แกน-คีแนน (Morgan-Keenan system) โดยแบ่งดาวฤกษ์ (ยกเว้นดาวแคระสีขาว) ออกเป็น 5 ชั้นสภาพส่องสว่าง (luminosity class) ดังตัวอย่างในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.4

The Morgan-Keenan luminosity classification

STAR	DESCRIPTION	CLASS
Rigel Deneb	Most luminous supergiants	Ia
Antares	Least luminous supergiants	Ib
Canopus	Bright giants	II
Arcturus, Capella, Aldebaran	Normal giants	III
Procyon, Altair	Subgiants	IV
Vega, Sirius, Sun	Main sequence (dwarfs)	V



รูปที่ 4.13 ระบบมอร์แกน-คีแนน ตามเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์

จากการศึกษาวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ นักดาราศาสตร์สามารถหาระยะทางของดาวฤกษ์ได้ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า สเปกโทรสโคปิก แพรัลแลกซ์ (spectroscopic parallax) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. นักดาราศาสตร์ถ่ายภาพเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์

2. จากเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์ นักดาราศาสตร์สามารถรู้ว่าดาวฤกษ์ดวงนี้อยู่ในชั้นสเปกตรัมชั้นใด (จากชั้น O ถึง M) ซึ่งบอกถึงอุณหภูมิพื้นผิวของดาวฤกษ์ได้

3. จากการเปรียบเทียบเส้นสเปกตรัมของดาวฤกษ์กับเส้นสเปกตรัมมาตรฐานในระบบมอร์แกน-คีแนน นักดาราศาสตร์ก็จะรู้ค่าชั้นสภาพส่องสว่างของดาวฤกษ์ได้ จากค่านี้บอกได้ว่าดาวฤกษ์ที่กำลังศึกษาอยู่นี้เป็นดาวยักษ์หรือดาวแคระสีขาว หรือดาวฤกษ์ที่อยู่ในอันดับตามกันส่วนใหญ่ ดังนั้น นักดาราศาสตร์สามารถหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์ได้จากกราฟของแผนภาพเอช - อาร์

4. นักดาราศาสตร์วัดค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์บนท้องฟ้า

5. จากค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวฤกษ์และค่าโชติมาตรของดาวฤกษ์ นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหาระยะทางของดาวฤกษ์ได้ โดยใช้สูตรกำลังสองผกผัน (inverse square law : *โปรดดูรายละเอียดในบทที่ 8*) โดยที่ระยะทางของค่าโชติมาตรสัมบูรณ์จากโลกเท่ากับ 10 พาร์เสก