บทที่ 2
ทฤษฎี

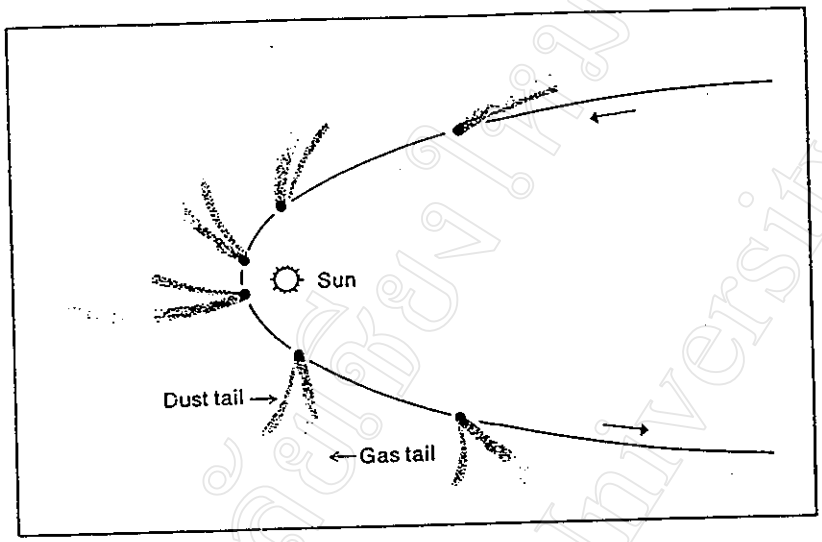
2.1 ธรรมชาติของดาวหาง

ดาวหางเป็นกลุ่มก้อนน้ำแข็ง ฝุ่น และก๊าซที่แข็งตัวที่หลงเหลือจากการสร้างระบบสุริยะ ล่องลอยอยู่ในอวกาศ ต่อเมื่อถูกอิทธิพลแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ดึงดูดเข้ามา ก้อนน้ำแข็ง ฝุ่น และก๊าซจะเกิดปฏิกิริยากับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและลมสุริยะ(Solar Wind) เกิดเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่าดาวหาง(Comet) ซึ่งมีองค์ประกอบคือนิวเคลียส(Nucleus) โคมา(Coma) และหาง(Tail)

นิวเคลียส(Nucleus) คือบริเวณจุดศูนย์กลางของส่วนหัวของดาวหาง ซึ่งมีขนาดประมาณ 2 - 3 กิโลเมตรหรือมากกว่านั้น ด้วยเหตุที่ใจกลางมีขนาดเล็กมากจึงปรากฏเป็นจุดสว่างคล้ายดาวฤกษ์ มวลส่วนใหญ่ของดาวหางจะรวมอยู่ตรงส่วนนี้

โคมา(Coma) หรือส่วนหัว เป็นส่วนประกอบรอบนอกที่หุ้มห่อใจกลางไว้ เป็นโมเลกุลของก๊าซที่ระเหิดหลุดออกมาจากนิวเคลียส ปกติโคมาของดาวหางจะเกิดขึ้นเมื่อดาวหางเคลื่อนที่เข้าใกล้ดวงอาทิตย์ประมาณ 3 AU. จะมีการแตกตัวออกเป็นโมเลกุลและอิออนชนิดต่างๆ ซึ่งนักดาราศาสตร์ได้ตรวจพบโดยอาศัยสเปกโทรกราฟ เช่น CN , C_2 , C_3 , CH , NH , NH_2 , และ OH ในการแตกตัวเป็นไอออนในส่วนหัว ทำให้ดาวหางเกิดปรากฏการณ์เรืองแสง(Fluorescence) ออกมานอกเหนือจากการสะท้อนแสงโดยตรง

ส่วนหาง(Tail) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหางฝุ่นและหางก๊าซ หางก๊าซมีลักษณะเหยียดตรงมีสีน้ำเงิน ซึ่งประกอบด้วยไอออนของก๊าซต่างๆ ส่วนมากจะเป็น CO^+ แต่มี C_2^+ , CH^+ , CN^+ ปนอยู่ด้วย หางชนิดนี้มีปฏิกิริยาต่อลมสุริยะ ในปัจจุบันเชื่อกันว่าทั้งอิเลกตรอน โปรตอน และสนามแม่เหล็กมีบทบาทสำคัญในการผลักดันให้เกิดหางชนิดนี้ขึ้น ส่วนหางฝุ่นมีลักษณะเป็นหางโค้ง จากการตรวจแสงที่มาจากหางพบว่าเป็นแสงที่กระเจิงมาจากฝุ่น ผง แสดงว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอนุภาคแข็งเล็กละเอียด ฝุ่นผงนี้อาจเป็นสิ่งสกปรกที่อยู่ในก้อนน้ำแข็งบริเวณส่วนหัวของดาวหาง ทั้งหางฝุ่นและหางก๊าซจะชี้ในทิศออกจากดวงอาทิตย์เสมอ



รูปที่ 2.1 แสดงทิศทางของหางฝุ่นและหางก๊าซ

2.2 โชติมาตรของดาว

ดวงดาวบนท้องฟ้าจะมีความสว่างไม่เท่ากัน การบอกระดับความสว่างของดวงดาวเราบอกด้วยค่า โชติมาตร (Magnitude) ความสว่างของดวงดาวขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ขนาด และระยะทางที่ดาวอยู่ห่างจากโลก ดังนั้นการบอกระดับความสว่างของดวงดาวจึงบอกเป็นค่าโชติมาตรปรากฏ (Apparent Magnitude) และค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude)

2.2.1 โชติมาตรปรากฏ

ในทางดาราศาสตร์ได้กำหนดเกณฑ์ที่แน่นอน เพื่อถือเป็นหลักในการกำหนดค่าโชติมาตรของดวงดาวว่า "ดวงดาวที่มีค่าโชติมาตรที่ 1 จะมีความสว่างมากกว่าดวงดาวที่มีค่าโชติมาตรที่ 6 อยู่ 100 เท่า"

ถ้าเรากำหนดให้ อัตราส่วนของความสว่างของดาวที่มีค่าโชติมาตรถัดกันเป็น a และผลต่างของค่าโชติมาตร 1 และ 6 คือ 5 ดังนั้นจะได้

$$a^5 = b_1/b_6 = 100$$

$$a = 10^{2/5}$$

$$a = 2.512$$

นั่นคือ ถ้าดาวที่มีค่าโชติมาตรต่างกัน 1 จะมีความสว่างต่างกัน 2.512 เท่า

พิจารณาดาวสองดวงที่มีค่าโชติมาตรเป็น m และ n และส่งพลังงานแสงมายังโลก มีความสว่างเป็น b_m และ b_n ดังนั้นผลต่างของโชติมาตรเท่ากับ m-n จะแปรตามอัตราส่วนของความสว่าง b_n / b_m นั่นคือ

$$b_n / b_m = 100^{(m-n)/5}$$

$$\log (b_n / b_m) = \{(m-n) / 5\} \log 100$$

$$= 0.4\ (m-n)$$

$$m-n = 2.5 \log (b_n / b_m) \qquad (2.1)$$

สมการ (2.1) คือนิยามของโชติมาตรปรากฏ จะเห็นว่าค่า m>n เมื่อ $b_m < b_n$ นั่นคือดวงดาวที่สว่างมากกว่าจะมีค่าโชติมาตรน้อยกว่า

2.2.2 โชติมาตรสัมบูรณ์

เมื่อเราทราบว่า โชติมาตรปรากฏของดาวขึ้นอยู่กับระยะทางของดาวด้วย เมื่อต้องการจะเปรียบเทียบระดับความสว่างของดาว เราจึงต้องกำหนดที่ระยะทางเท่ากัน ระยะทางที่เรากำหนดเพื่อการเปรียบเทียบคือระยะทางที่ห่างจากโลก 10 พาร์เสก (Parsec) โชติมาตรที่ระยะนี้เราเรียกว่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude)

กำหนดให้โชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวเป็น M ความสว่างสัมบูรณ์เป็น B ในระยะทาง 10 พาร์เสก และโชติมาตรปรากฏเป็น m ความสว่างปรากฏเป็น b ในระยะทาง d พาร์เสก

จากกฎกำลังสองผกผันเราจะได้

$$B / b = (d / 10\ pc)^2 \quad ; \text{pc คือ parsec}$$

อาศัยสมการที่ (2.1) จะได้

$$m - M = 2.5 \log (B / b)$$

$$m - M = 2.5 \log (d / 10\ pc)^2 \qquad (2.2)$$

$$m - M = 5 \log d - 5$$

$$M = m + 5 - 5 \log d \qquad (2.3)$$

สมการที่ (2.3) เป็นสมการหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (M) ของดาว

ในกรณีของดาวหาง ระยะมาตรฐานคือ 1 AU. ดังนั้นจากสมการ (2.2) เขียนใหม่เป็น

$$m - M = 2.5 \log [\, d(AU.) / 1(AU.) \,]^2$$

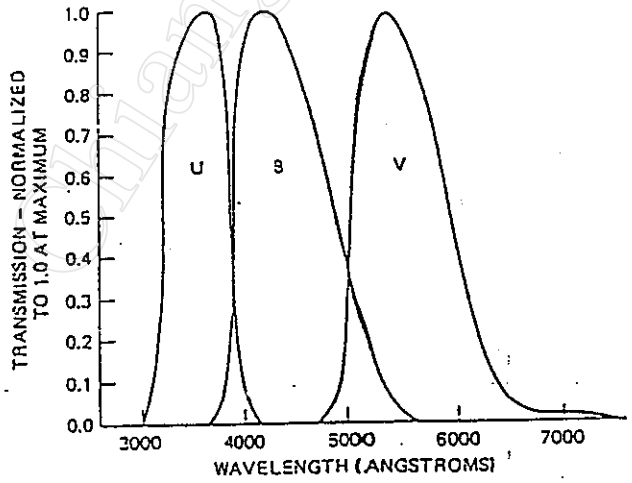
$$m - M = 2.5 \log d^2(AU.) \qquad (2.4)$$

เมื่อวัดโชติมาตรบนโลกจะเรียกว่าโชติมาตรปรากฏ (Apparent Magnitude , m) เมื่อผู้วัดเสมือนวัดค่าโชติมาตรอยู่บนดวงอาทิตย์ จะเรียกค่าโชติมาตรนั้นว่า Intrinsic Brightness หรือ Heliocentric Magnitude , m

ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude , M) คือค่าโชติมาตรปรากฏที่ระยะใดๆ เปรียบเทียบกับระยะมาตรฐาน ในที่นี้ใช้ Geocentric Distance , Δ = 1 AU. และ Heliocentric Distance , r = 1 AU.

2.3 ระบบแผ่นกรองแสงแบบ UBV

ส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งในระบบ ซี ซี ดี โฟโตมิเตอร์ ก็คือระบบแผ่นกรองแสง ซึ่งในการวัดความเข้มของแสงที่เปล่งออกมาจากวัตถุท้องฟ้านั้น นิยมวัดเป็นช่วงความถี่หรือความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัม ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ แผ่นกรองแสงชนิดแถบกว้าง (Wide Band Filter System) ในช่วงความยาวคลื่นอุลตราไวโอเล็ต (U) มีความไวสูง ณ ความยาวคลื่น 3500 อังสตรอม สีน้ำเงิน (B) มีความไวสูง ณ ความยาวคลื่น 4250 อังสตรอม และสีเหลือง (V) มีความไวสูง ณ ความยาวคลื่น 5500 อังสตรอม แต่ละแถบความยาวคลื่นจะมีช่วงกว้างประมาณ 1000 อังสตรอม ระบบนี้เรียกว่า "ระบบแผ่นกรองแสงแบบ UBV" ที่หอดูดาวสิรินธร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ก็ใช้แผ่นกรองแสงระบบนี้ รูปที่ 2.8 แสดงค่าฟังก์ชันการผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแผ่นกรองแสงแต่ละชนิด และตารางที่ 2.1 แสดงถึงคุณสมบัติของแผ่นกรองแสงแต่ละชนิดที่มีต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันการผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแผ่นกรองแสงแต่ละชนิด

ชนิดแผ่นกรองแสง	ความยาวคลื่นแสงที่ส่งผ่านมากที่สุด (อังสตรอม)	แถบกว้าง (อังสตรอม)
U	3500	1000
B	4250	1250
V	5500	1000

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของแผ่นกรองแสงแต่ละชนิดที่มีต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4 ดัชนีสี

ดาวทั้งหลายที่ปรากฏอยู่บนท้องฟ้ามีสีแตกต่างกันไป ตั้งแต่สีแดงจนถึงสีน้ำเงินในช่วงสเปกตรัมที่ตามองเห็นได้ เช่น ดาวบีเทลจูส (Betelgeuse) และดาวแอนทารีส (Antares) จะมีสีแดง ส่วนดาวซิริอุส (Sirius) จะมีสีขาว และดาวไรเจล (Rigel) มีสีน้ำเงินแกมขาว เป็นต้น ในการพิจารณาคำจำกัดความเกี่ยวกับสีของดาวนั้น จะใช้อุปกรณ์ทางแสงเข้าช่วย เช่น ตา ฟิล์มถ่ายรูป โฟโตมิเตอร์ แผ่นกรองแสง เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้มีความไวต่อแสงสีต่างกัน

ตาของมนุษย์มีความไวต่อแสงสีแดงและสีเหลืองมากกว่าสีน้ำเงิน ดังนั้นตาจะเห็นดาวสีน้ำเงินมีค่าโชติมาตรมากกว่า (สว่างน้อย) ดาวสีแดง เมื่อดาวทั้งสองดวงนี้มีกำลังส่องสว่างที่แท้จริงและระยะทางเท่ากัน แต่ถ้าฟิล์มถ่ายรูปจะเกิดผลตรงกันข้าม กล่าวคือ ภาพของดาวสีน้ำเงินที่เกิดบนแผ่นฟิล์มจะใหญ่และเข้มกว่าภาพของดาวสีแดงเมื่อใช้เวลาถ่ายภาพเท่ากัน ความแตกต่างเหล่านี้นำมาเป็นหลักในการพิจารณาสีและดัชนีสีของดวงดาว โดยกำหนดว่า ดัชนีสี (Color Index,C) คือผลต่างของโชติมาตรเมื่อวัดด้วยอุปกรณ์ทางแสง 2 ชนิด ซึ่งมีผลตอบสนองทางแสงต่างกัน เช่น ในการสังเกตการณ์ทางโฟโตเมตรี ถ้าใช้แผ่นกรองแสงสีน้ำเงินวัดโชติมาตรได้ B และถ้าใช้แผ่นกรองแสงสีเหลืองวัดโชติมาตรได้ V ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{ค่าดัชนีสี (C)} = B-V \qquad (2.6)$$

หรือ

$$\text{ค่าดัชนีสี (C)} = -2.5 \log (C_b / C_v) \qquad (2.7)$$

เมื่อ C_b คือค่าการนับสุทธิในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน (B)

C_v คือค่าการนับสุทธิในช่วงความยาวคลื่นสีเหลือง (V)

ดาวที่มีสีน้ำเงินค่าดัชนีสีจะเป็นลบ ดาวที่มีสีเหลืองค่าดัชนีสีจะเป็นบวก และถ้าดาวเป็นดาวที่มีสีขาวถือว่าดาวดวงนี้มีผลตอบสนองต่อสีน้ำเงินและสีเหลืองเท่ากัน ค่าดัชนีสีจะเท่ากับศูนย์

2.5 การลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก

บรรยากาศที่หุ้มห่อโลกมีผลต่อการลดของแสงดาว ถ้าทำการสังเกตการณ์บนพื้นโลก เมื่อดาวอยู่ที่ขอบฟ้าแสงดาวจะผ่านบรรยากาศของโลกเป็นระยะทางมากกว่าเมื่อดาวอยู่ ณ ระยะมุมเงยที่สูงขึ้นไป และจะผ่านเป็นระยะทางน้อยที่สุดเมื่อดาวอยู่ที่ตำแหน่งเหนือศีรษะ หรือจุดเซนิท (Zenith) ดังนั้นเมื่อค่ามุมเงยของดาวฤกษ์เพิ่มขึ้นแสงดาวจะปรากฏสว่างขึ้น นอกจากนั้นยังพบอีกว่าสีของดาวเมื่ออยู่ใกล้ระดับขอบฟ้าจะปรากฏแดงกว่าความเป็นจริง และผลดังกล่าวนี้จะลดลงเมื่อตำแหน่งของดาวสูงขึ้น

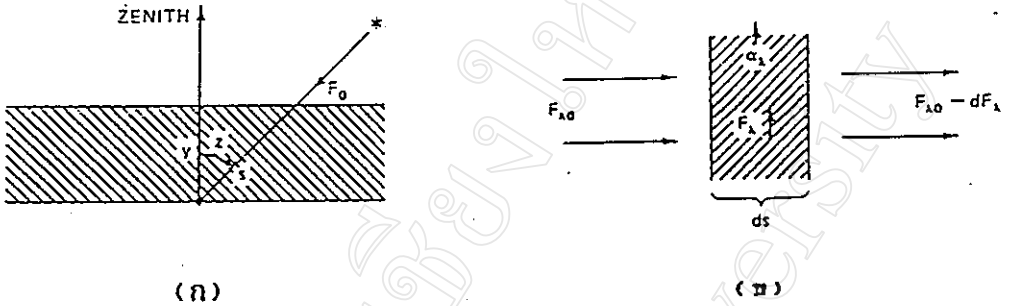
2.5.1 มวลอากาศ

ความหนาแน่นของบรรยากาศของโลกกำหนดในเทอมของ "มวลอากาศ(Air Mass, X)" ดังนั้น ณ บริเวณขอบฟ้าค่ามวลอากาศจะมากและลดลงเมื่อมุมเงยเพิ่มขึ้น โดยกำหนดว่า

ระยะเซนิท (Z) = 90° - มุมเงย (2.5)

z	sec z	X	Correction	z	sec z	X	Correction
0°....	1.000	1.000	0.000	69°....	2.790	2.773	0.017
30.....	1.155	1.154	.001	70.....	2.924	2.904	.020
60.....	2.000	1.995	.005	71.....	3.072	3.049	.023
61.....	2.063	2.057	.006	72.....	3.236	3.209	.027
62.....	2.130	2.123	.007	73.....	3.420	3.388	.032
63.....	2.203	2.196	.007	74.....	3.628	3.558	.040
64.....	2.281	2.273	.008	75.....	3.864	3.816	.048
65.....	2.366	2.356	.010	76.....	4.134	4.075	.059
66.....	2.459	2.448	.011	77.....	4.445	4.372	.073
67.....	2.559	2.546	.013	78.....	4.810	4.716	.094
68.....	2.670	2.655	0.015	79.....	5.241	5.120	0.121

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามวลอากาศ (X) และค่าระยะเซนิท (Z)



รูปที่ 2.3 (ก) ทางเดินของแสงดาวผ่านบรรยากาศของโลก ณ ค่าระยะเซนิท (Z)
(ข) การดูดกลืนแสงเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก

รูปที่ 2.3 (ก) แสดงทางเดินของแสงดาวผ่านชั้นบรรยากาศของโลก เมื่ออนุโลมว่าบรรยากาศของโลกเป็นลักษณะระนาบขนาน (Plane-Parallel Atmosphere) ข้อกำหนดดังกล่าวใช้ได้โดยมีความผิดพลาดไม่เกิน 2% เมื่อสังเกตดาวที่มีค่ามุมเงยไม่ต่ำกว่า 30° หรือมีค่าระยะเซนิทไม่เกิน 60° และอาจประมาณได้ว่า

$$X = \sec Z$$

ซึ่ง

$$\sec Z = (\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos H)^{-1} \qquad (2.8)$$

โดย ϕ เป็นละติจูดของผู้สังเกต
δ เป็นเดคลิเนชันของดาว
H เป็นค่ามุมชั่วโมงของดาว ณ เวลาสังเกตการณ์

สำหรับระยะเซนิทที่มีค่ามากกว่า 60° เงื่อนไขระนาบของบรรยากาศจะใช้ไม่ได้ ค่ามวลของอากาศจะสัมพันธ์กับระยะเซนิท โดยการประมาณของเบมโพราด (Bemporad Approximation) ดังนี้

$$X = \sec Z - 0.0018167\,(\sec Z-1) - 0.002875\,(\sec Z-1)^2 - 0.0008083\,(\sec Z-1)^3 \quad (2.9)$$

2.5.2 เทคนิคการแก้ผลการลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก

โดยทั่วไปอาจกำหนดเงื่อนไขระนาบขนานของบรรยากาศได้ โดยถือว่าส่วนโค้งของผิวโลกมีผลน้อยมาก สำหรับการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์เกี่ยวกับตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าที่มีค่ามุมเงยไม่น้อยกว่า 30° ตามรูปที่ 2.2 (ข) เมื่อแสงเดินทางผ่านบรรยากาศของโลกซึ่งมีความหนาแน่น ds ฟลักซ์ของแสงจะสูญเสียไป dF_λ ค่าการสูญเสียของฟลักซ์ดังกล่าวนี้มีค่าเป็นสัดส่วนกับฟลักซ์ทั้งหมดของดาว (F_λ) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (α_λ) ตลอดจนระยะทางที่แสงผ่านในบรรยากาศ (ds) ดังนั้น

$$dF_\lambda = -F_\lambda\ \alpha_\lambda\ ds \quad (2.10)$$

เครื่องหมายลบแสดงว่า F_λ ลดลงหรือถูกดูดกลืน เมื่อระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ในบรรยากาศมากขึ้น

$$dF_\lambda / F_\lambda = -\alpha_\lambda\ ds$$

ถ้าบรรยากาศมีความหนา S ดังนั้นอินติเกรตตั้งแต่ผิวของบรรยากาศเป็นระยะทาง S จะได้ว่า

$$F_\lambda / F_{\lambda_0} = \exp\left(-\int_0^S \alpha_\lambda\ ds\right) \quad (2.11)$$

ซึ่ง F_{λ_0} เป็นฟลักซ์ที่ตกกระทบ ณ ผิวด้านบนของบรรยากาศ

ถ้ากำหนดว่า

$$\tau_\lambda = \int_0^S \alpha_\lambda\ ds \quad (2.12)$$

ดังนั้น

$$F_\lambda / F_{\lambda_0} = e^{-\tau_\lambda} \quad (2.13)$$

อัตราส่วนของฟลักซ์ในสมการ (2.13)อาจเขียนได้ในรูปผลต่างของโชติมาตรดังนี้

$$\begin{aligned} m_\lambda - m_{\lambda_0} &= -2.5 \log (F_\lambda / F_{\lambda_0}) \\ &= -2.5 \log (e^{-\tau_\lambda}) \\ &= 1.086\ \tau_\lambda \\ &= 1.086 \sec Z \int_0^y \alpha_y \, dy \end{aligned} \qquad (2.14)$$

ดังนั้นอาจเขียนได้ว่า

$$m_{\lambda_0} = m_\lambda - k'_\lambda \sec Z \qquad (2.15)$$

โดย $k'_\lambda = \int_0^y \alpha_y \, dy$ เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลกที่มีความหนา y

ค่า k'_λ เป็นค่าสัมประสิทธิ์หลักซึ่งมีผลโดยตรงต่อการลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก ดังนั้นจึงเรียก k'_λ ว่า เป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาวอันดับหนึ่ง (First Order Extinction Coefficient)

2.5.3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลกอันดับที่หนึ่ง

ในการวิจัยทางโฟโตอิเลกตริก โฟโตเมตรี ในช่วงความยาวคลื่นแถบกว้างนั้น นิยมสังเกตการณ์ในช่วงความยาวคลื่นอุลตราไวโอเล็ต (U) สีน้ำเงิน (B) และสีเหลือง (V) ดังนั้นอาจเขียนค่าสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาวอันดับที่หนึ่ง ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าโชติมาตรที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือ กับค่ามวลอากาศ (X) ดังนี้

$$\begin{aligned} v_0 &= v + k'_v X \\ b_0 &= b + k'_b X \\ u_0 &= u + k'_u X \end{aligned} \qquad (2.16)$$

u_0, b_0, v_0 คือค่าโชติมาตรที่วัดโดยเครื่องมือ ที่นอกบรรยากาศโลก

u, b, v คือค่าโชติมาตรที่วัดโดยเครื่องมือ ที่พื้นโลก

X คือค่ามวลอากาศ

ในเทอมของดัชนีสีอาจเขียนได้ดังนี้

$$(b-v)_0 = (b-v) + k'_{bv} X \quad (2.17)$$

$$(u-b)_0 = (u-b) + k'_{ub} X \quad (2.18)$$

โดย

$$k'_{bv} = k'_b - k'_v$$

$$k'_{ub} = k'_u - k'_b$$

โดยปกติทั่วไป ในทางโฟโตเมตรี จะมีการกำหนดค่าโชติมาตรมาตรฐาน และสีของดาวมาตรฐาน ซึ่งวัดโดยเครื่องบันทึกสัญญาณและชุดของแผ่นกรองแสงใดๆ เอาไว้ เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลทางโฟโตเมตรี ไม่ว่าจะทำการสังเกตการณ์ ณ สถานที่ใด จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้

ในทางปฏิบัติ อาจจะวัดฟลักซ์ของแสงดาวในช่วงความยาวคลื่นทั้งสาม ณ ค่ามวลอากาศต่างๆ ค่าความชันของกราฟระหว่างผลต่างของโชติมาตรที่แท้จริงและโชติมาตรที่วัดโดยใช้เครื่องมือกับค่ามวลอากาศ จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดของแสงดาวเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลกอันดับที่หนึ่ง ในการสังเกตการณ์แต่ละคืน ผู้สังเกตการณ์ต้องวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้ทุกคืนที่ทำการสังเกตการณ์ โดยเลือกดาวมาตรฐานที่เหมาะสม แล้วเทียบค่ามาตรฐานที่หาเอาไว้เพื่อประเมินคุณภาพของข้อมูลที่เก็บได้แต่ละคืน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่วัดได้อาจมีการกระจัดกระจาย เนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงท้องถิ่น ซึ่งผู้สังเกตการณ์ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) ปรับข้อมูลดังกล่าว

2.6 การแปลงค่าสู่ระบบมาตรฐาน

การแปลงค่าโชติมาตรหรือสีที่วัดได้โดยเครื่องมือสู่ค่ามาตรฐาน ผู้ทำการสังเกตการณ์จะต้องวัดทั้งดาวโปรแกรมและดาวมาตรฐานสลับกันไป เพื่อให้การแปลงค่าโชติมาตรและสีของดาวโปรแกรม สู่ระบบมาตรฐานมีความถูกต้องและสมบูรณ์มากที่สุด

เมื่อให้ U , B และ V เป็นค่าโชติมาตรในระบบ UBV ของดาวมาตรฐานใดๆ

u , b , และ v เป็นค่าโชติมาตรที่วัดได้จากเครื่องมือของดาวมาตรฐาน

พบว่า

$$V = \epsilon(B-V) + V_0 + \xi_v \quad (2.19)$$

$$(B-V) = \mu(b-v)_0 + \xi_{bv} \quad (2.20)$$

$$(U-B) = \Psi(u-b)_0 + \xi_{ub} \quad (2.21)$$

โดย ϵ, μ, Ψ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าของโชติมาตรและสีในระบบ UBV ของสถานที่สังเกตการณ์ใดๆ

$\xi_v, \xi_{bv}, \xi_{ub}$ เป็นค่าจุดศูนย์ของโชติมาตรและสีในระบบ UBV ของสถานที่สังเกตการณ์ใดๆ

พิจารณาสมการ (2.19) ค่า ϵ นั้นมีค่าน้อยมาก อีกทั้งดาวมาตรฐานที่ใช้มีค่า B-V น้อยมาก ดังนั้นเทอม $\epsilon(B-V)$ จึงสามารถตัดทิ้งได้ เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$V = v_0 + \xi_v \quad (2.22)$$

เช่นเดียวกัน Filter U และ B จะได้

$$U = u_0 + \xi_u \quad (2.23)$$

$$B = b_0 + \xi_b \quad (2.24)$$

แทนค่า u_0 , b_0 และ v_0 จากสมการ (2.16) ลงในสมการ (2.23) (2.24) และ (2.22) ตามลำดับ จะได้

$$U = u + k'_u X + \xi_u \quad (2.25)$$

$$B = b + k'_b X + \xi_b \quad (2.26)$$

$$V = v + k'_v X + \xi_v \quad (2.27)$$

เขียนสมการทั้งสามใหม่ได้ว่า

$$U - u = k'_u X + \xi_u \quad (2.28)$$

$$B - b = k'_b X + \xi_b \quad (2.29)$$

$$V - v = k'_v X + \xi_v \quad (2.30)$$

จากสมการ (2.28) ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (U - u) กับ X จะได้กราฟเส้นตรงมีความชันเท่ากับ k'_u และจุดตัดแกนตั้งเท่ากับ ξ_u เมื่อทราบ k'_u และ ξ_u แล้ว จากการสังเกตการณ์ดาวโปรแกรมแต่ละดวง ก็จะทราบค่าโชติมาตรที่วัดได้โดยเครื่องมือ (u) แทนกลับเข้าไปในสมการ (2.28) ก็จะทราบค่าโชติมาตรปรากฏของดาวโปรแกรมนั้น สำหรับชุดแผ่นกรองแสง B และ V ก็ทำเช่นเดียวกัน

2.7 ตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้า

การบอกตำแหน่งของดาวบนท้องฟ้า สามารถบอกได้หลายระบบแล้วแต่ความเหมาะสม ระบบพิกัดศูนย์สูตรเป็นระบบหนึ่งที่ใช้กันมาก การบอกตำแหน่งของดาวด้วยระบบพิกัดศูนย์สูตรบอกได้ด้วยพิกัดสองชนิดคือ

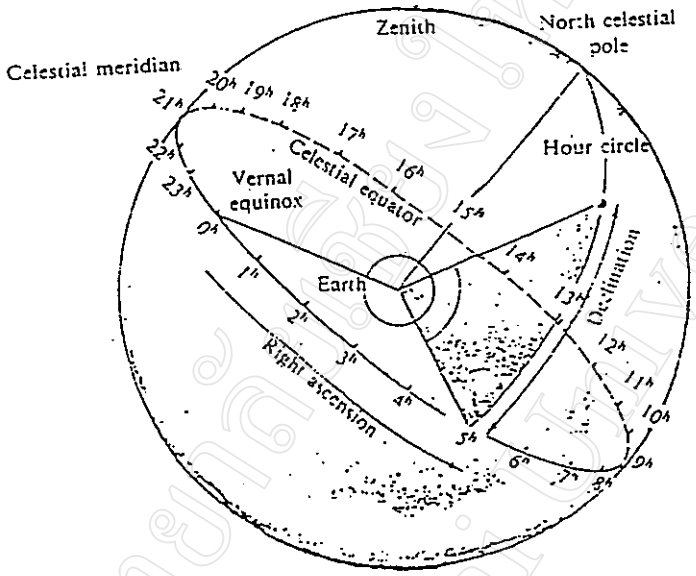
2.7.1 เดคลิเนชัน

เดคลิเนชัน (Declination, δ.) หมายถึง ระยะทางเชิงมุมจากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าไปทางเหนือหรือไปทางใต้ ถึงตำแหน่งของดาวตามเส้นวงกลมชั่วโมง ที่เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้ามีค่าเดคลิเนชันเท่ากับ 0° ถ้าดาวอยู่ทางเหนือ เดคลิเนชันมีค่าตั้งแต่ 0° จนถึง +90° ถ้าดาวอยู่ทางใต้ เดคลิเนชันมีค่าตั้งแต่ 0° จนถึง -90° ใช้หน่วยเป็น องศา,ลิปดา,ฟิลิปดา สัญลักษณ์ของเดคลิเนชันคือ δ

2.7.2 ไรท์แอสเซนชัน

ไรท์แอสเซนชัน (Right Ascension, ∝.) หมายถึงมุมที่จุดศูนย์กลางหรือส่วนโค้งบนเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยเริ่มนับ 0 ชั่วโมง ที่จุดวสันตวิษุวัติ (Vernal Equinox) ไปทางทิศตะวัน

ออก ขนถึง 24 ชั่วโมง เมื่อกลับมาสู่จุดเริ่มต้นอีกครั้ง ใช้หน่วยเป็น ชั่วโมง,นาที,วินาที สัญลักษณ์ของไรท์แอสเซนชัน คือ α



รูปที่ 2.4 ค่าเดคลิเนชันและไรท์แอสเซนชัน

2.8 ระยะทางระหว่างดาว

เนื่องจากขอบเขตของดาราศาสตร์กว้างใหญ่ไพศาล และวัตถุท้องฟ้าที่ทำการศึกษาค้นคว้าก็อยู่ห่างไกลมาก ถ้าวัดระยะทางด้วยหน่วยวัดระยะทางที่เราคุ้นเคยกันดี ตัวเลขคงยาวจนเราไม่สามารถจะจดจำได้ ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงได้กำหนดหน่วยวัดระยะทางขึ้นใช้สำหรับวัตถุท้องฟ้าที่อยู่ห่างไกล ซึ่งมีหลายหน่วยด้วยกัน ได้แก่

2.8.1 หน่วยกิโลเมตรหรือไมล์

เป็นหน่วยที่ใช้วัดระยะทางระหว่างดาวเคราะห์กับดาวบริวาร เช่น ดวงจันทร์กับโลกของเรา

2.8.2 หน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical Unit) ใช้ย่อเป็น "A.U."

1 A.U. = ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
= 93 ล้านไมล์
= 149,600,000 กม.

หน่วยนี้ใช้วัดระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวนพเคราะห์ หรือระยะห่างจากดาวนพเคราะห์ด้วยกัน

2.8.3 หน่วยปีแสง (Light Year)

ใช้ย่อเป็น "Ly" ใช้วัดระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์(หรือโลก)กับดาวฤกษ์ ดาราจักรหรือเนบิวลาที่อยู่ห่างไกล

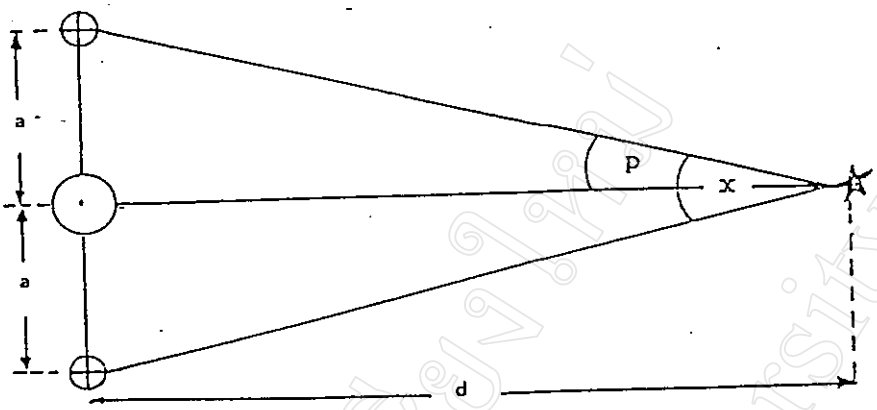
1 ปีแสง = ระยะทางที่แสงเดินทางในเวลา 1 ปี
= $3 \times 10^{8} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60$ เมตร
= 9.46×10^{12} กม.

ในหน่วยนี้อาจใช้หน่วยย่อยลงไปอีกถ้าเป็นระยะทางที่ไม่ห่างมากนักเป็น นาทีแสง หรือวินาทีแสง เช่น เราอาจบอกว่าโลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 8 นาทีแสง

2.8.4 หน่วยพาร์เสก(Parsec)

คำว่า Parsec มาจากคำว่า Parallax + Second เป็นอีกหน่วยหนึ่งที่ใช้วัดระยะทางจากดวงอาทิตย์หรือโลกถึงดาวฤกษ์ หรือวัตถุท้องฟ้าอื่นๆ โดยวิธีพาราแลกซ์ สำหรับหน่วยนี้ใช้วัดระยะทางที่ไกลไม่เกิน 300 ปีแสง โดยปกตินิยมใช้น้อยกว่าหน่วยปีแสง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University



รูปที่ 2.5 การวัดระยะทางโดยวิธีพารัลแลกซ์

วิธีวัดระยะทาง d โดยวิธีพารัลแลกซ์ ทำได้ดังนี้

วัดมุมของดาว เมื่อมองจากโลก ณ ตำแหน่งที่ 1 และที่ 2

$= x$ เรเดียน

$p = x/2$ เรเดียน

จะได้ $d = a/p$

a และ d จะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

ถ้า a = 1 A.U. และ p = ฟิลิบดา(″)

จะได้ $d = 1/p''$ พาร์เสก

จาก 1 เรเดียน $= 57^\circ\ 17'\ 45''$

$= 206{,}265''$

$1'' = 1/206{,}265$ เรเดียน

จาก $d = a/p$

$\therefore\ d = a/(1/206{,}265)$

$d = 206{,}265\ a$

เมื่อ a = 1 A.U.

$\therefore\ d = 206{,}265$ A.U.

นั่นคือเมื่อดาวฤกษ์อยู่ห่างจากโลก ทำให้ค่า p = 1″ ดาวฤกษ์จะอยู่ห่างออกไปเป็นระยะทาง 206,265 A.U. แต่ระยะทางที่ทำให้เกิดมุม p = 1″ คือ 1 พาร์เสก

$$\therefore 1 \text{ พาร์เสก} = 206{,}265 \text{ A.U.}$$
$$= 3.26 \text{ ปีแสง}$$

2.9 ระบบ ซี ซี ดี โฟโตมิเตอร์

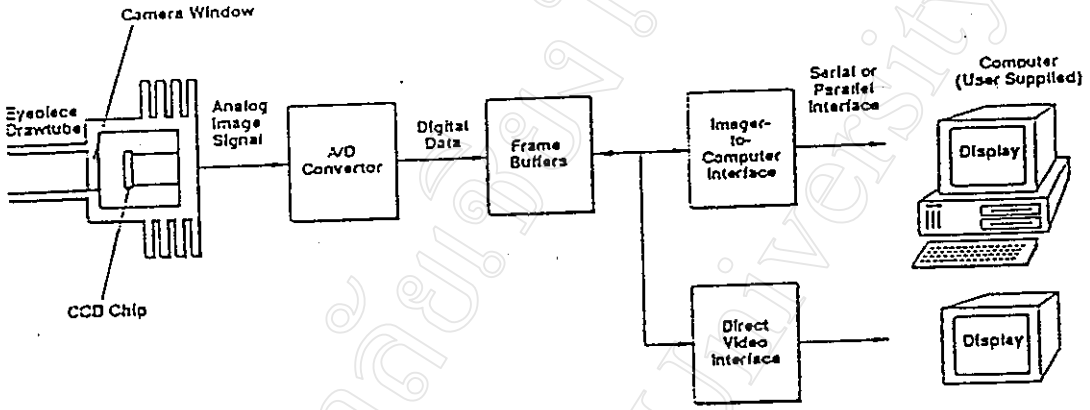
การศึกษาทางดาราศาสตร์ ไม่ใช่เป็นเพียงแต่การมองผ่านกล้องดูดาว แล้วมองเห็นวัตถุท้องฟ้าอย่างที่คนส่วนใหญ่คิดกัน แต่การศึกษาทางดาราศาสตร์นั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติของวัตถุท้องฟ้าต่างๆ กลไก ปฏิกิริยาและระบบของสิ่งเหล่านั้นเพื่อจะได้นำมาอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ตลอดจนการศึกษาให้ทราบถึงขั้นตอนของการวิวัฒนาการของระบบดวงดาว ซึ่งจะทำให้เราทราบถึงการวิวัฒนาการของระบบสุริยะของเราได้ด้วย

ดังนั้น ลำพังแต่กล้องดูดาวเพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะนำมาใช้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของวัตถุท้องฟ้าได้ทั้งหมด จำเป็นที่จะต้องคิดสร้างอุปกรณ์อื่นๆ อีกมากมายมาใช้ร่วมกับกล้องดูดาว เพื่อที่จะวัดคลื่นที่แผ่ออกมาจากวัตถุท้องฟ้าเหล่านั้นในรูปแบบต่างๆกัน ซึ่งคลื่นทั่วไปที่พิจารณามากที่สุดได้แก่คลื่นแสง

คลื่นแสง เมื่อนำมาเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าหรือแถบสเปกตรัม ก็จะทำให้สามารถที่จะศึกษาคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างละเอียด อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบรับสัญญาณของวัตถุท้องฟ้าส่วนมากได้แก่ อุปกรณ์ทางด้านอิเลกโทรนิคส์และทางด้านแสง

หลักการสำคัญทาง ซี ซี ดี โฟโตเมตรี นั้น เมื่อแสงจากวัตถุท้องฟ้าตกกระทบบน CCD chip ซึ่งทำด้วยสารกึ่งตัวนำ อะตอมจะถูกไอออไนซ์โดยโฟตอนเกิดเป็นไอออน และอิเลกตรอนอิสระ จำนวนไอออนและอิเลกตรอนอิสระจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณโฟตอนจากวัตถุท้องฟ้าที่ตกกระทบ CCD chip เมื่อให้ความต่างศักย์สูงระหว่างขั้วจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าดังกล่าวอาจถูกขยายโดยวงจรขยาย (Amplifier) เพื่อให้มีค่ามากพอในการที่จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณภาพออกทางจอคอมพิวเตอร์ ที่จอคอมพิวเตอร์จะมีรูปกากบาท เมื่อเราต้องการวัดค่าโชติมาตรของดาวดวงใด ก็เลื่อนกากบาทไปตรงที่มืดที่สุดก่อนแล้วกดคีบอร์ดที่ B ให้ค่าโชติมาตรตรงนี้มีค่าเท่ากับ 99 จากนั้นถ้าเราต้องการวัดค่าโชติมาตรของดาวดวงใด ก็เลื่อนกากบาทไปที่ดาวดวงนั้น ค่าโชติมาตรที่วัดได้จะปรากฏขึ้นบนจอ หรือถ้าเราทราบค่าโชติมาตรปรากฏของดาวดวงใด

ดวงหนึ่งในภาพ เราก็เลื่อนกากบาทไปที่ดาวดวงนั้นแล้วกำหนดค่าโชติมาตรให้เท่ากับค่าโชติมาตรปรากฏ โดยกดคีบอร์ดที่ - หรือ + จากนั้นเราก็เลื่อนกากบาทไปที่ดาวดวงอื่น ค่าโชติมาตรที่ได้ของดาวดวงอื่นจะเป็นค่าโชติมาตรปรากฏ รูปที่ 2.6 แสดงระบบ ซี ซี ดี โฟโตมิเตอร์



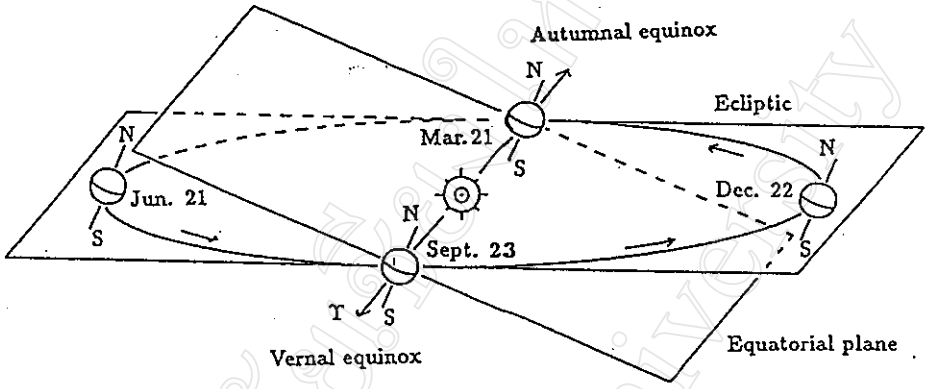
รูปที่ 2.6 ระบบ ซี ซี ดี โฟโตมิเตอร์

2.10 กราฟแสง (Light Curve)

การเปลี่ยนแปลงความสว่างของดาวหางนั้นสามารถศึกษาได้จากกราฟแสง ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของดาวหางกับวัน เวลา หรือระยะทาง จากการศึกษากราฟแสงนี้ทำให้เราได้ทราบโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude) และยังสามารถทำนายความสว่างที่วัน เวลา ก่อนและหลังจุดเพอริฮีเลียน(Perihelion) ท้ายที่สุดจะได้สมการ Power-Law ซึ่งอธิบายถึงโชติมาตรปรากฏรวม ที่วัน เวลา ใดๆ ได้

2.11 พิกัดสุริยวิถี(Ecliptic Coordinate) และพิกัดศูนย์สูตร(Equatorial Coordinate)

ระบบพิกัดสุริยวิถีกับระบบพิกัดศูนย์สูตร แตกต่างกันที่ระนาบของการวัด ในกรณีของระบบพิกัดสุริยวิถี ให้ระนาบ x , y เป็นระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์(Ecliptic) และในระบบพิกัดศูนย์สูตร มีระนาบขนานกับศูนย์สูตรของโลก ดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระนาบทั้งสองระบบ

ทั้งสองระบบมีแกน x และ x′ ขนานกันและมีทิศทางเดียวกัน และทิศนั้นถูกเรียกว่า Vernal Equinox หรือ First Point of Aries โดยให้สัญลักษณ์ เป็น γ ซึ่งเป็นทิศที่ตั้งฉากกับขั้วเหนือของระนาบสุริยวิถี และตั้งฉากกับขั้วเหนือของโลก มี ε เป็นมุมระหว่างระนาบพิกัดสุริยวิถีกับระนาบพิกัดศูนย์สูตร มีค่าประมาณ $23^{\circ}.5$

ความสัมพันธ์ระหว่างสองระบบนี้คือ $x = x'$ ค่า y , z และ y′ , z′ มีความสัมพันธ์กัน พิจารณาที่แกน y ($z = 0$) มีพิกัดศูนย์สูตรคือ

$$y' = y\cos\varepsilon$$

และ $$z' = y\sin\varepsilon$$

พิจารณาแกน z จะได้

$$y' = -z\sin\varepsilon$$

$$z' = z\cos\varepsilon$$

ดังนั้น ในระบบพิกัดศูนย์สูตร จะได้องค์ประกอบคือ

$$x' = x$$

$$y' = y\cos\varepsilon - z\sin\varepsilon$$

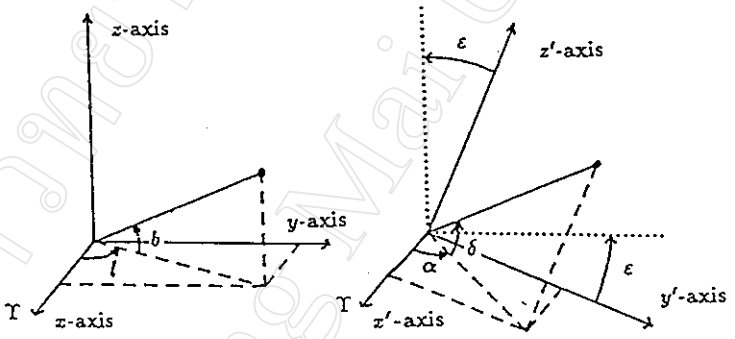
$$z' = y \sin \varepsilon + z \cos \varepsilon$$

ในทางกลับกัน ในระบบพิกัดสุริยวิถี จะได้องค์ประกอบคือ

$$x = x'$$

$$y = y' \cos \varepsilon + z' \sin \varepsilon$$

$$z = -y' \sin \varepsilon + z' \cos \varepsilon$$



รูปที่ 2.8 Ecliptic and Equatorial Coordinates

จากรูป จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมกันระบบแกน คือ

$$x = r \cos b \cos l$$

$$y = r \cos b \sin l$$

$$z = r \sin b$$

และ $x' = r \cos \delta \cos \alpha$

$$y' = r \cos\delta \sin\alpha$$
$$z' = r \sin\delta$$

ดังนั้น เมื่อรู้ค่าลองจิจูด(Longitude) ละติจูด(Latitude) ระยะทาง(r)และมุมไรท์แอสเซนชันและเดคลิเนชันของระบบใดระบบหนึ่ง สามารถทำให้เป็นระบบพิกัดศูนย์สูตร (Equatorial Coordinate) หรือระบบพิกัดสุริยะวิถี(Ecliptic Coordinate) ได้

2.12 องค์ประกอบของวงทางโคจรของดาวหาง

การวิเคราะห์วงทางโคจรของดาวหางหรือดาวเคราะห์นั้น เราทราบมาแล้วว่า e และ a ก็สามารถที่จะสร้างวงทางโคจรของดาวหางได้ แต่ในการพิจารณาอย่างละเอียดจะต้องทราบข้อมูลมากกว่านี้ กล่าวคือต้องชี้ให้เห็นว่าวงโคจรเหล่านั้นวางตั้งอยู่ในอวกาศอย่างไร เมื่อเทียบกับกรอบเปรียบเทียบ (Frame of Reference) ที่เหมาะสมใด ซึ่งในกรณีนี้ต้องทราบปริมาณ 3 ปริมาณคือ

1. ทิศการวางตั้งของระนาบทางโคจร ซึ่งหมายถึงการกำหนดทิศทางของแกนยาวว่าทำกับทิศที่ค่าคงที่ใดๆ ในระนาบนี้เป็นเท่าใด

2. ระนาบเอียงทำมุมเท่าใดกับระนาบคงที่ที่กำหนดให้ เช่น ระนาบอิคลิปติก (Ecliptic)

3. มุมซึ่งเกิดจากเส้นซึ่งเกิดจากการตัดกันระหว่างระนาบสองระนาบทำกับทิศคงที่ใดๆ เป็นเท่าใด

ดังนั้นองค์ประกอบของวงโคจรของดาวหางจะต้องประกอบด้วย

T คือ เวลาที่ดาวหางอยู่ตำแหน่งที่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด หรือตำแหน่ง Perihelion

γ คือ ตำแหน่งของจุด Vernal Equinox และเส้นตรง sγ ให้เป็นเส้นทางอ้างอิง โดยที่ s คือดวงอาทิตย์

i คือ ค่ามุมเอียงของระนาบวงโคจรของดาวหางรอบดวงอาทิตย์กับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ เส้นตรงที่เป็นรอยตัดของสองระนาบนี้ให้ชื่อว่าเป็นสองขั้วคือ N และ N' ตำแหน่งที่ดาวหางในวงโคจรเคลื่อนที่จากทิศใต้มายัง

ทิศเหนือของระนาบของโลกรอบดวงอาทิตย์ เรียกว่า Ascending Node , N ส่วนตำแหน่งที่ดาวหางในวงโคจรของมันเคลื่อนที่จากทิศเหนือมายังทิศใต้ของระนาบของโลกรอบดวงอาทิตย์ เรียกว่า Descending Node , N'

Ω คือ มุมที่กวาดจากเส้นตรง sγ ไปจนถึงตำแหน่ง Ascending Node

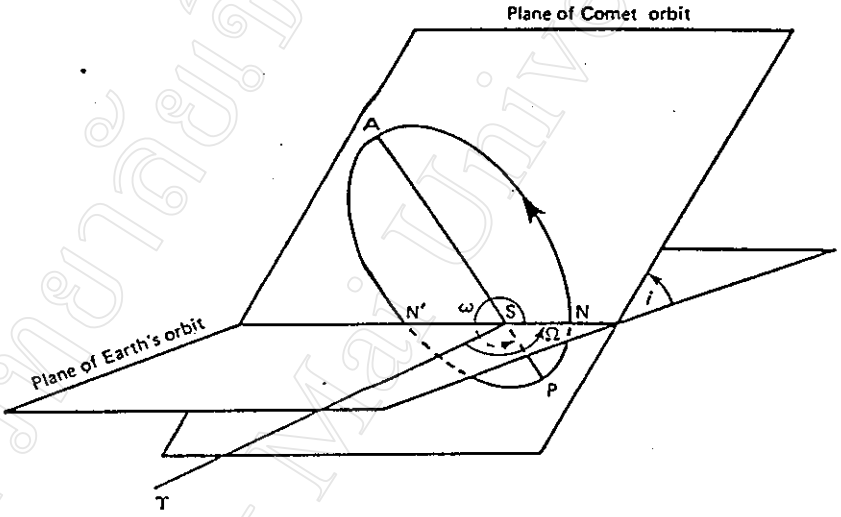
ω คือ มุมที่กวาดจากจุด Ascending Node ไปยังตำแหน่ง Perihelion

a คือ ค่าครึ่งแกนยาวของวงโคจรวงรีของดาวหาง มีหน่วยเป็น A.U.

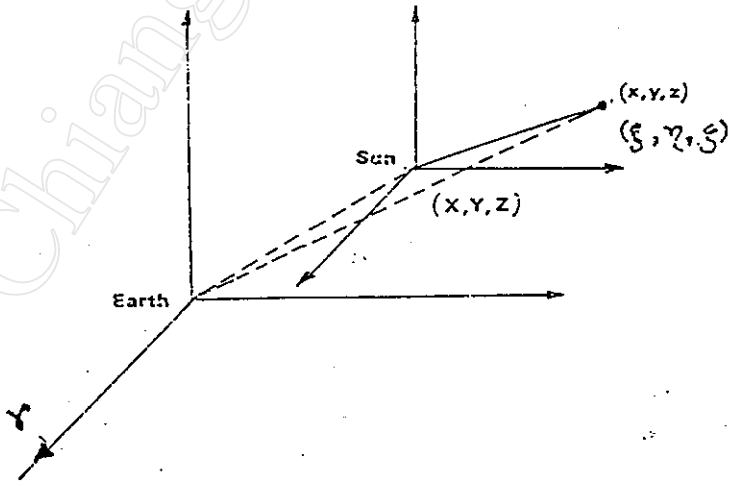
e คือ ค่าความรีของวงโคจรของดาวหาง

p คือ คาบดาราคติของดาวหาง

(ก)



(ข)



รูปที่ 2.9 (ก) องค์ประกอบของวงโคจรของดาวเคราะห์
(ข) ตำแหน่งของดาวหางเมื่อให้โลก และดวงอาทิตย์เป็นจุดอ้างอิง