

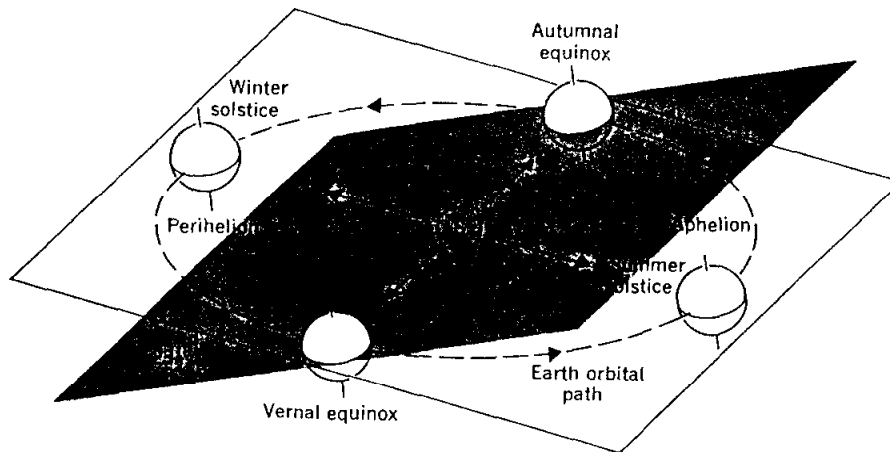
## บทที่ 3

### การเคลื่อนที่ของโลก

- 3.1 ฤดูกาล
- 3.2 วันไคร้ติเรียม และวันสุริยคติ
- 3.3 กะเวยียงของแกนโลก
- 3.4 การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์
- 3.5 มุมของดวงอาทิตย์ที่เท่ากับขอบฟ้าในเวลาเที่ยงที่ตำแหน่งวินเตอร์ซอลสทิซ
- 3.6 ค่าคงที่สุริยะ
- 3.7 กฎที่นำไปสู่การวัดความเข้มของการแผ่รังสี
- 3.8 กฎของโชนส์สำหรับความเข้มของแสงอาทิตย์
- 3.9 กฎกำลังสองผกผัน

การเคลื่อนที่ของโลกมีสองแบบด้วยกันคือหมุนรอบตัวเอง (rotation) และหมุนรอบดวงอาทิตย์ การหมุนรอบตัวเองก็คือการหมุนรอบแกนซึ่งเป็นเส้นที่ลากผ่านขั้วโลกนั่นเอง โลกหมุนรอบตัวเองเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์ใช้เวลา 24 ชั่วโมงและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลางวันและกลางคืน การเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งของโลกก็คือหมุนในวงจรรอบดวงอาทิตย์ซึ่งจะทำให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ เมื่อหลายร้อยปีก่อนคนเราคิดว่าโลกเราอยู่นิ่งในอวกาศเหตุผลก็คือถ้าโลกเคลื่อนที่ที่เราจะต้องรู้สึกว่ามีลมเคลื่อนที่ผ่านหน้าเราไป แต่ปัจจุบัน เราพบว่าโลกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกือบ 113,000 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเหตุที่ไม่รู้สึกว่ามีอากาศพุ่งผ่านตัวเราไป เพราะบรรยากาศสามารถอยู่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก จะถูกนำไปด้วยความเร็วเท่ากับอัตราเร็วของโลกนั่นเอง

ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร เนื่องจากวงจรรอบดวงอาทิตย์ของโลกเป็นรูปวงรี (ellipse) เล็กน้อย ดังนั้นระยะทางจะเปลี่ยนแปลงตามการหมุนในแต่ละปี ประมาณวันที่ 3 ของเดือนมกราคมโลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 147 ล้านกิโลเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้ที่สุดของปี ตำแหน่งนี้เรียกว่า เพรียฮีเลียน (perihelion) (มาจากภาษากรีก peri แปลว่าใกล้ helios แปลว่าดวงอาทิตย์) อีกประมาณ 6 เดือนต่อมาในวันที่ 4 กรกฎาคม โลกจะมีระยะทาง 152 ล้านกิโลเมตร จากดวงอาทิตย์ และตำแหน่งนี้เรียกว่าเอพฟีเรียล (aphelion) (ap แปลว่าไกล) (ดูรูป 3.1) การเปลี่ยนแปลงจำนวนแสงที่ได้รับบนโลกอันเป็นผลจากลักษณะรูปร่างรีนี้มีผลเล็กน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาล ตามความเป็นจริงพบว่าเมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม นั้น ซีกโลกทางเหนือจะเป็นฤดูหนาว ซึ่งโดยเหตุผลแล้วการอยู่ใกล้น่าจะทำให้เกิดเป็นฤดูร้อน

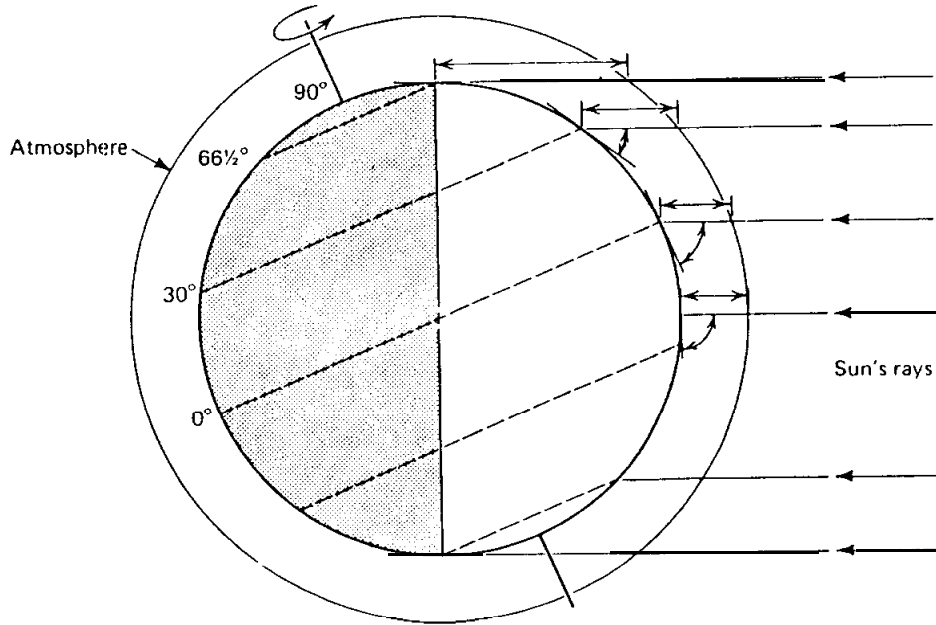


รูป 3.1 ตำแหน่งเพริฮีเลียนและเอพฟีเรียล ซึ่งเกิดขึ้นหลังตำแหน่งวินเตอร์ซอลสทิซ และซัมเมอร์ซอลสทิซ เล็กน้อยเรียงตามลำดับ

### 3 . 1 ฤดูกาล (The Seasons)

เราทราบว่าในฤดูหนาวอากาศจะเย็นกว่าในฤดูร้อน ถ้าไม่ใช่ระยะทางไกลไกลที่โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละฤดูกาลแล้ว อะไรเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่น้อยของความยาวนานของจำนวนแสงแดดในเวลากลางวัน ทำให้เราทราบถึงความแตกต่างระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาว นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอัลติจูด (altitude) (มุมที่อยู่เหนือขอบฟ้า) ของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงวันก็เป็นปัจจัยต่อผู้ที่คอยสังเกต ในกลางฤดูร้อนของเวลาเที่ยงจะเห็นดวงอาทิตย์โคจรอยู่สูงกลางท้องฟ้า และเมื่อฤดูร้อนผ่านไปดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในตอนเที่ยงวันก็จะต่ำลงในท้องฟ้าและจะตกเร็วขึ้นทุกวัน

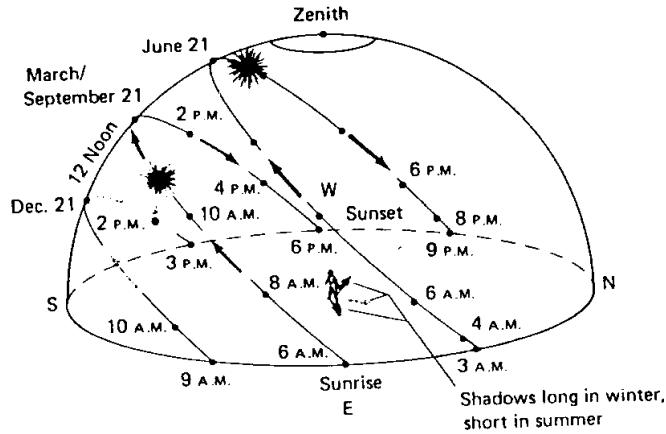
การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมุมของความสูง (altitude) ของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า ตอนเที่ยงในแต่ละฤดูกาลนั้นมีผลต่อการรับจำนวนแสงบนพื้นโลกสามประการด้วยกัน ประการแรกเมื่อดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงของฤดูร้อนอยู่ตรงศรีษะหรือทำมุม 90 องศา แสงจะมีความเข้มข้นมากที่สุด แต่ถ้ามุมของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงยิ่งต่ำลง แสงยิ่งแผ่กระจายมากขึ้นและความเข้มข้นของแสงจะน้อยลงเมื่อมาถึงพื้นโลก (ดูการคำนวณในหัวข้อ 3.8) ประการที่สองซึ่งมีความสำคัญน้อยกว่าก็คือค่ามุมของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงจะช่วยพิจารณาถึงความหนาของบรรยากาศที่แสงจะต้องทะลุผ่าน (ดูรูป 3.2) เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ตรงศรีษะแสงจะทะลุผ่านความหนา 1 บรรยากาศเท่านั้น แต่ถ้าแสงทำมุม 30 องศา ชั้นบรรยากาศจะหนาขึ้นเป็นสองเท่า (ดูตาราง 3.1) ดังนั้นเมื่อระยะทางยิ่งหนา โอกาสที่แสงจะถูกดูดกลืน ถูกสะท้อนและถูกกระเจิงโดยบรรยากาศก็ยิ่งมีมาก ซึ่งจะลดความเข้มข้นของแสงที่พื้นผิวลง และจากเหตุผลนี้เองทำให้อธิบายได้ว่าเมื่อละติจูดยิ่งสูงขึ้นไปทางขั้วโลกอากาศจะยิ่งเย็นลงนอกจากนี้ยังอธิบายได้อีกว่า ดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงจะร้อนและมองเห็นโดยตรงไม่ได้แต่ในขณะที่ดวงอาทิตย์กำลังจะตกเราสามารถมองดูได้อย่างสบาย ประการที่สามการเปลี่ยนของตำแหน่งความสูงของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงจะทำให้เกิดความยาวนานของวันที่แตกต่างกันเราพบว่าในฤดูร้อนกลางวันจะยาวและกลางคืนจะสั้น แต่ในฤดูหนาวจะกลับตรงกันข้ามกลางวันจะสั้นและกลางคืนจะยาว เหตุนี้เองเวลาของการรับแสงแดดในแต่ละวันจะไม่เท่ากันในแต่ละฤดูกาล จากรูป 3.3 ซึ่งเป็นทางเดินของดวงอาทิตย์ที่โคจรในท้องฟ้าที่ละติจูด 55 องศาเหนือ ในแต่ละปีของวันที่ 21 เดือนมิถุนายน ดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงวันจะอยู่สูงสุดและกลางวันจะยาวนานที่สุด (ดวงอาทิตย์ขึ้นเมื่อเวลา 03.00 น. และตกเมื่อ 20.00 น.) แต่ในวันที่ 21 ธันวาคม ดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงวันจะอยู่ต่ำในท้องฟ้าและกลางวันจะสั้นที่สุด (ดวงอาทิตย์ขึ้นเวลา 09.00 น. และตกเมื่อเวลา 15.00 น.)



รูป 3.2 แสงอาทิตย์ที่ส่องทะลุในมุมต่ำจะผ่านชั้นบรรยากาศหนากว่าแสงที่ส่องในมุมตั้งฉาก ดังนั้นแสงที่ส่องในมุมต่ำจะมีความเข้มน้อยลง

Altitude	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	25°	1.5°	10°	4°
Thickness	1.0	1.02	1.06	1.15	1.30	1.55	2.00	2.36	3.62	5.60	12.44

ตาราง 3.1 ความหนาของบรรยากาศที่มุมต่าง ๆ

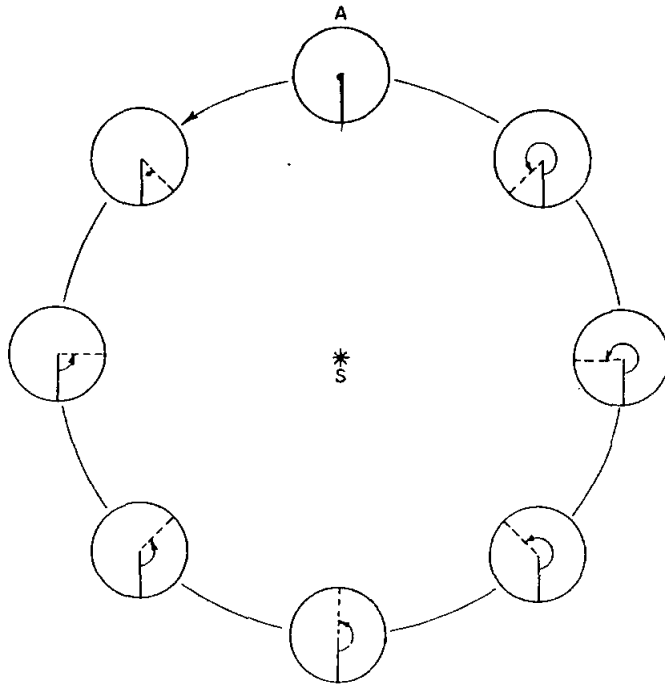


รูป 3.3 ทางเดินของดวงอาทิตย์ที่โคจรในเวลาต่าง ๆ ของปี ที่ละติจูด 55 องศาเหนือ

### 3.2 วันไซดิเรียล และวันสุริยคติ (Sidereal Day and Solar Day)

ทั้งการหมุนของโลกรอบตัวเองและหมุนรอบดวงอาทิตย์จะทวนเข็มนาฬิกาถ้ามองจากเหนือขั้วโลกเหนือลงไป และการหมุนทั้ง 2 แบบ จะหมุนจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก สำหรับการหมุนของโลกรอบตัวเองเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์จะใช้เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเราเรียกว่าวันสุริยคติ (solar day) และเมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบหนึ่งรอบพอดีจะใช้เวลา 365.242 ของวันสุริยคติ

เวลาที่แท้จริงของการหมุนรอบตัวเองครบหนึ่งรอบ โดยความจริงแล้วไม่ได้เทียบกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากเมื่อโลกหมุนไปในวงจักรนั้น มันจะต้องหมุนไปมากกว่าหนึ่งรอบเล็กน้อย เพื่อจะได้อยู่ตรงกันข้ามกับดวงอาทิตย์พอดี และหลังจากโลกหมุนครบหนึ่งรอบในวงโคจรในหนึ่งปี จำนวนที่หมุนเกินไปเล็กน้อยในแต่ละวันนั้นจะบวกกันเข้าครบรอบการหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบพอดี ตัวอย่างการหมุนดูได้จาก รูป 3.4 รูปนี้เป็นรูปที่มองจากเบื้องบนของขั้วโลกลงไป เมื่อโลกหมุนไปตามวงโคจรในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศรนั้น เส้นเมริเดียนซึ่งแสดงด้วยรัศมีของโลกที่ตำแหน่ง A จะอยู่ชนหน้า (facing) กับส่วนล่างของแผ่นกระดาษ และอยู่ชนหน้ากับดวงอาทิตย์ด้วย เมื่อโลกหมุนในตำแหน่งที่ 2 ในวงจักร เส้นเมริเดียนจะมายู่ประจันหน้ากับดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเห็นว่าโลกได้หมุนเกิน 360 องศา ไปเล็กน้อย (โดยเทียบกับส่วนล่างของแผ่นกระดาษที่เป็นจุดคงที่) มุมที่แสดงด้วยลูกศรเล็ก ๆ ที่อยู่ภายในก็คือค่าของมุมที่หมุนเกินไปในการหมุนครบหนึ่งรอบนั่นเอง ทั้งนี้เพื่อที่จะให้เมริเดียนมาอยู่ในแนวเส้นตรงกับดวงอาทิตย์และเมื่อโลกหมุนเพิ่มต่อไปในวงจักร จำนวนมุมจะบวกมากขึ้นเป็น 180 องศา ซึ่งตำแหน่งตอนนี้โลกจะอยู่ตรงกันข้ามกับตำแหน่ง



รูป 3.4 วันไซดีเรียล ต่อความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของโลก

A พอดี และเมื่อหมุนครบรอบหนึ่งปีโลกก็จะเคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งเดิม A ดังนั้น จะเห็นว่าเมื่อโลกหมุนไปในแต่ละหนึ่งวันสุริยคตินั้น โลกจะหมุนเกินไป  $1/365.242$  ของการหมุนครบรอบจริงในแต่ละวัน การหมุนครบรอบตัวเองจริงนี้เรียกว่าวันไซดีเรียล (sidereal day)

ถ้าให้  $S$  เป็นสัญลักษณ์ของจำนวนชั่วโมง นาที และวินาทีที่โลกหมุนครบไปหนึ่งรอบจริง ๆ เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$s + \frac{1}{365.242} S = 24$$

$$s = \frac{24}{1 + \left( \frac{1}{365.242} \right)}$$

$$= 23.93447 \text{ ชั่วโมง}$$

$$= 23 \text{ ชั่วโมง } 56 \text{ นาที } 4.09 \text{ วินาที}$$

ฉะนั้นการหมุนครบรอบตัวเองจริง ๆ นั้นจะเร็วกว่าเวลาของหนึ่งวันสุริยคติ เมื่อเรามาพิจารณาการเคลื่อนที่ของอากาศเหนือพื้นโลกซึ่งก็คือลม เราพบว่า การหมุนของโลกรอบตัว

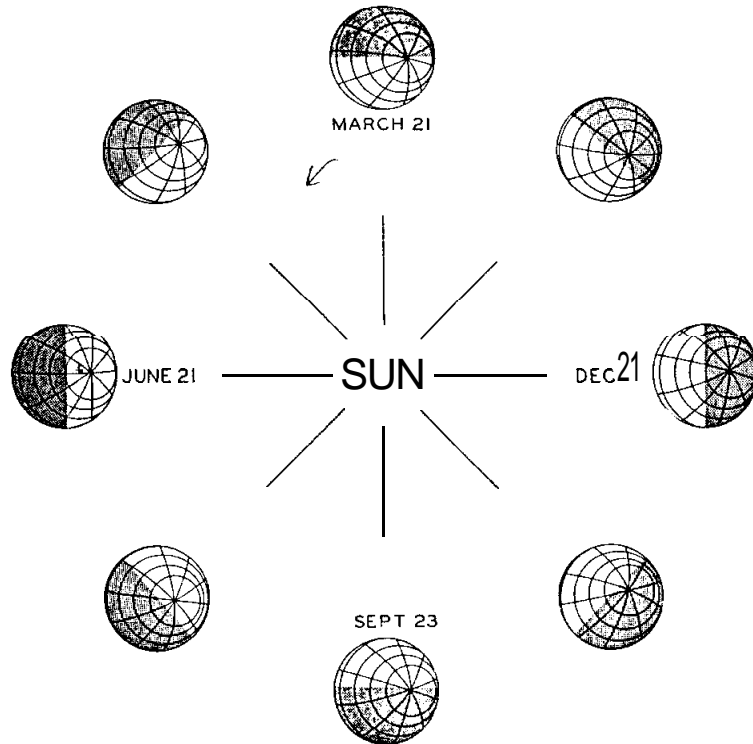
เองมีผลต่อลมโดยตรง และเราจะใช้ค่า  $2\pi$  เรเดียนต่อหนึ่งวัน ไซติเรียลในการคำนวณ

การหมุนของโลกรอบตัวเองมีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของกาลอากาศของแต่ละวัน เช่น การร้อนขึ้นในตอนกลางวันและเย็นลงในตอนกลางคืน หรือ การเปลี่ยนแปลงของเมฆลม เป็นต้น

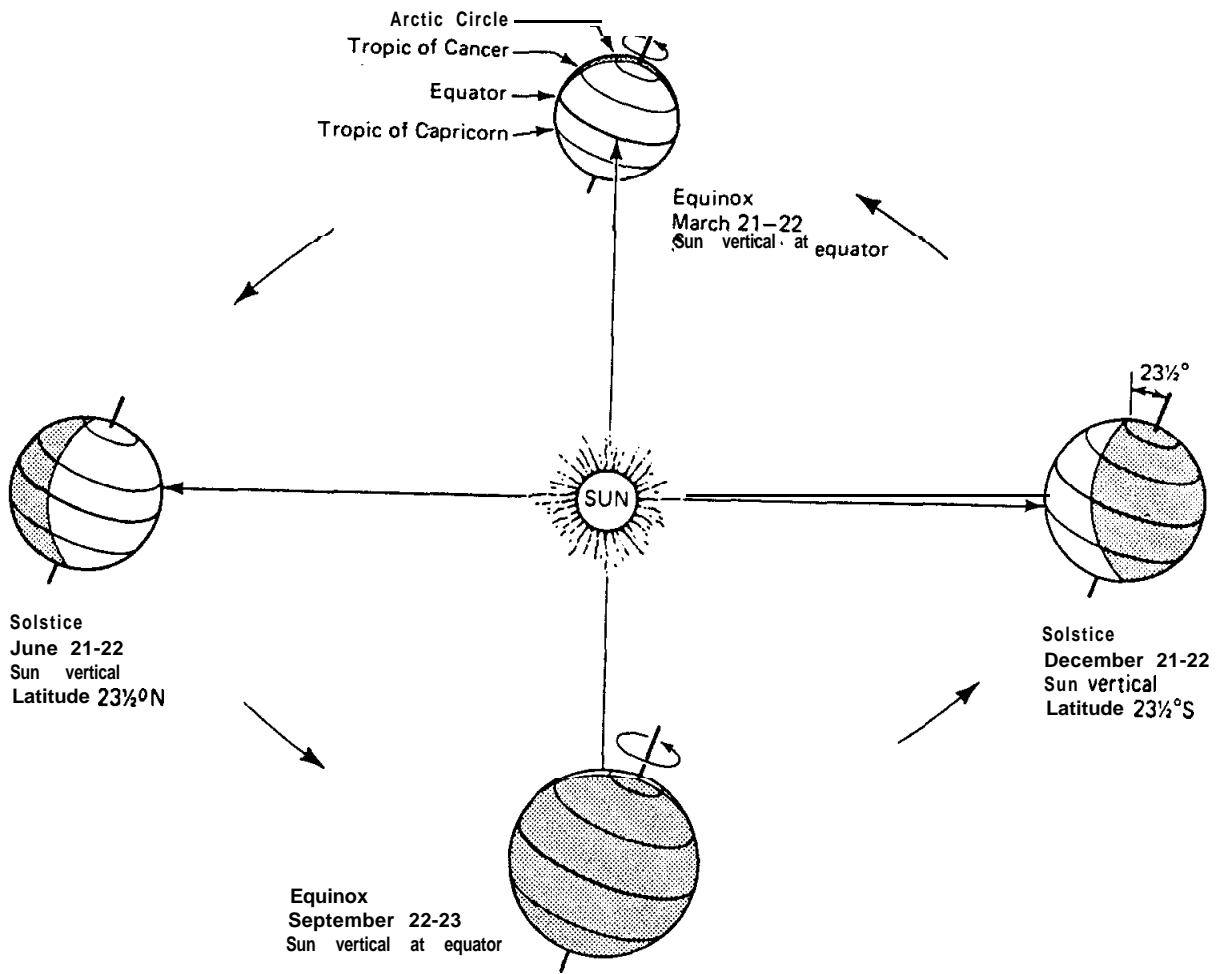
### 3.3 การเอียงของแกนโลก ( Inclination of the Earth Axis)

อะไรเป็นเหตุให้มุมของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าและความยาวของวันเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี คำตอบก็คือแกนของโลกไม่ได้ตั้งฉากกับระนาบทางเดินของการโคจรรอบดวงอาทิตย์ แต่จะเอียงทำมุม  $23 \frac{1}{2}$  องศา กับเส้นที่ลากตั้งฉากกับระนาบ ถ้าแกนโลกไม่เอียงเราจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล แกนของโลกนั้นจะชี้ตรงไปยังดาวเหนือ (North star) เสมอ

ในระหว่างที่เดินทางรอบดวงอาทิตย์ (ดูรูป 3.5 และ 3.6) จะมีวันหนึ่งของแต่ละปีที่ซีกโลกทางเหนือจะเอียง  $23 \frac{1}{2}$  องศาเข้าหาดวงอาทิตย์และอีกหกเดือนต่อมาเมื่อโลกเคลื่อนไปยังฝั่งตรง



รูป 3.5 การหมุนรอบโลกรอบดวงอาทิตย์เมื่อดูในลักษณะของตานก



รูป 3.6 การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ เมื่อดูจากด้านข้าง

ก้นข้ามของวงโคจร ซีกโลกทางเหนือจะเอียงหนีออกจากดวงอาทิตย์เป็นมุม  $23\frac{1}{2}$  องศา  
 การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ทำให้แสงส่องถึงจากในเวลาเที่ยงเปลี่ยนจากเส้นละติจูด  $23\frac{1}{2}$  องศา  
 เหนือในซีกโลกเหนือลงมายังเส้นละติจูด  $23\frac{1}{2}$  ใต้ในซีกโลกใต้ซึ่งมีผลรวมเท่ากับ 47 องศา

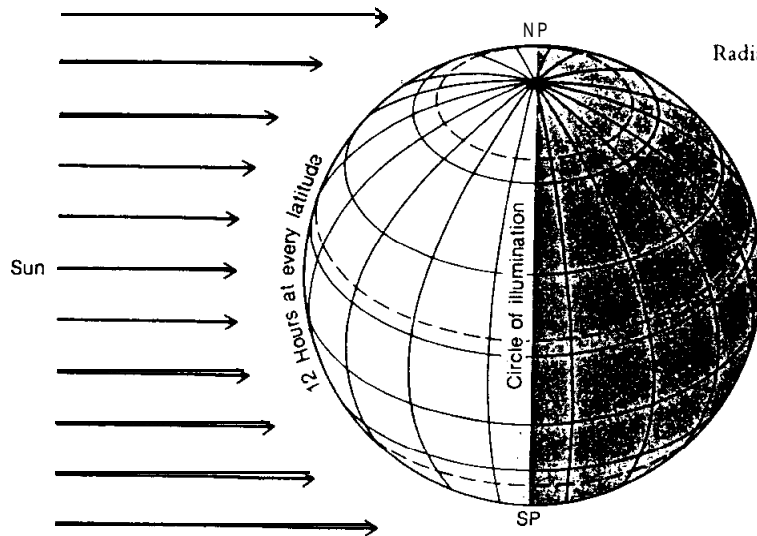


### 3.4 การหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ (Revolution of the Earth )

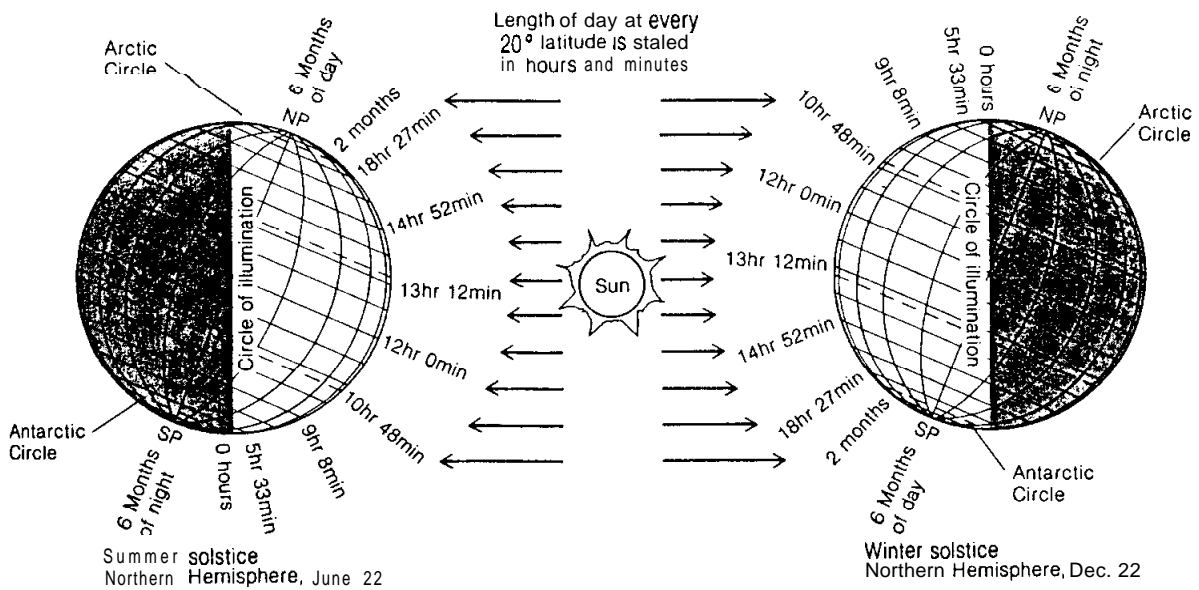
ในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายนของแต่ละปีแกนของซีกโลกเหนือจะเอียง  $23 \frac{1}{2}$  องศา เข้าหาดวงอาทิตย์ (ดูรูป 3.5) และแสงจากดวงอาทิตย์จะส่องตั้งฉากอยู่เหนือศีรษะพอดีที่ละติจูด  $23 \frac{1}{2}$  องศาเหนือ ซึ่งเราเรียกเส้นละติจูดนี้ว่า ทropic ออฟ เคนเซอร์ (Tropic of Cancer) ตำแหน่งของโลกในตอนนั้นเรียกว่า ซัมเมอร์ ซอลสติซ (summer solstice) หกเดือนต่อมาในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคมโลกจะเลื่อนมาอยู่ฝั่งตรงกันข้าม ซึ่งแสงจากดวงอาทิตย์จะส่องตั้งฉากหรืออยู่เหนือศีรษะพอดีที่  $23 \frac{1}{2}$  องศาใต้ เส้นละติจูดนี้เรียกว่าทropic ออฟ เคปปริคอร์น (Tropic of Capricorn) และตำแหน่งตอนนั้นเรียกว่า วินเตอร์ ซอลสติซ (winter solstice) (แต่สำหรับในซีกโลกทางใต้จะมีผลตรงกันข้ามและเรียกตำแหน่งนี้ว่า ซัมเมอร์ ซอลสติซ)

ตำแหน่ง อีควิน็อกซ์ (equinox) เกิดขึ้นระหว่างครึ่งทางของซอลสติซทั้งสองซึ่งได้แก่วันที่ 22 หรือ 23 กันยายน เรียกว่า ออทัมนอล อีควิน็อกซ์ (autumnal equinox) และวันที่ 21 หรือ 22 มีนาคมจะเรียกว่า เวอนอล อีควิน็อกซ์ (vernal equinox) ที่ตำแหน่ง อีควิน็อกซ์ทั้งสองนี้แสงจะส่องตั้งฉากหรืออยู่เหนือศีรษะพอดีที่เส้นศูนย์สูตร (ดูรูป 3.7) และลักษณะตอนนั้นแกนของโลกจะไม่เอียงเข้าหรือเอียงออกจากดวงอาทิตย์ทำให้ทุก ๆ ละติจูดเวลากลางวันจะเท่ากับกลางคืนคือกลางวัน 12 ชั่วโมง และกลางคืน 12 ชั่วโมง

สำหรับจำนวนชั่วโมงของเวลากลางวันและกลางคืนนั้นดูได้จากตำแหน่งของโลกที่อยู่ในวงโคจร ในวันที่ 21 มิถุนายนซึ่งเป็นตำแหน่งซัมเมอร์ ซอลสติซของซีกโลกทางเหนือนั้นกลางวันจะยาวกว่ากลางคืน (ดูรูป 3.8) สำหรับเส้นที่แบ่งกลางวันและกลางคืนออกเป็นสองส่วนเรียกว่าเส้นแบ่งวัน (circle of illumination) การคำนวณหาชั่วโมงความยาวนานของแสงแดดดูได้จากรูป 3.9 ภาพที่เห็นนั้นเป็นภาพที่มองจากข้างบนลงไปล่าง เนื่องจากเมื่อโลกหมุนครบหนึ่งรอบจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง และในแต่ละเส้นละติจูดก็จะหมุนครบหนึ่งวงกลมเช่นเดียวกันเพื่อที่จะคำนวณหาจำนวนชั่วโมงของแสงในเวลากลางวัน ทำได้โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของเส้นละติจูดวงกลมที่อยู่ในแสงแดดเปรียบเทียบกับส่วนของวงกลม ที่อยู่ในส่วนที่มีมืดของกลางคืน



รูป 3.7 ตำแหน่งออกทัมบอล อีควิน็อกซ์ และเวอร์นอนลิกเวิน็อกซ์ ซึ่งแสงส่องตั้งฉากที่เส้นศูนย์สูตร ทำให้ทุกเส้นละติจูดมีเวลากลางวันเท่ากับเวลากลางคืน



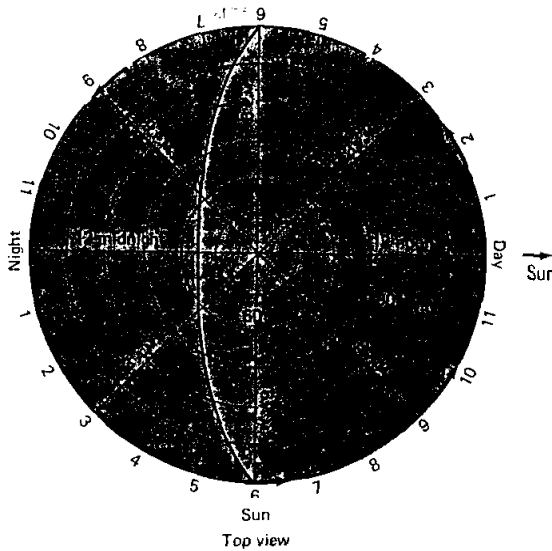
รูป 3.8 ตำแหน่งซิมเมอ ซอลส์ทิส แสงจะส่องตั้งฉากที่ละติจูด  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  N ทำให้ซีกโลกทางเหนือมีเวลากลางวันยาวกว่ากลางวัน และตำแหน่งวินเตอร์ ซอลส์ทิสแสงจะส่องตั้งฉากที่ละติจูด  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  S ทำให้ซีกโลกทางใต้มีเวลากลางวันยาวกว่ากลางวัน

**ตัวอย่างที่ 3.1**

ในวันที่ 21 มิถุนายนที่ละติจูด 60 องศาเหนือ จะมีแสงสว่างในเวลากลางวันเท่ากับกี่ชั่วโมง

**ข้อมูล :** จากรูป 3.9 เราพบว่าเศษสามส่วนสี่ของเส้นละติจูดวงกลมอยู่ในแสงสว่างของกลางวัน และในแต่ละละติจูดวงกลมจะหมุนครบรอบพอดีต้องใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้น  $\frac{3}{4}$  ของ 24 ชั่วโมง จะเป็นเวลากลางวัน

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ : จำนวนชั่วโมงของแสงสว่างในเวลากลางวัน} &= \frac{3}{4} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \\ &= 18 \text{ ชั่วโมง} \end{aligned}$$



**รูป 3.9** จำนวนชั่วโมงของแสงอาทิตย์ที่ละติจูดต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 21 มิถุนายนของซีกโลกทางเหนือรูปนี้จะมีเส้นแบ่งกลางวันและกลางคืนเป็นเส้นทึบในแนวขวางสำหรับที่ละติจูด 60 องศา สามในสี่ส่วนอยู่ในส่วนที่มีแสงดังนั้นจะมีเวลากลางวันนาน 18 ชั่วโมง

**3.5 มุมของดวงอาทิตย์ที่กำกับขอบฟ้าในเวลาเที่ยง ที่ตำแหน่งวินเตอร์ ซอลสทิซ (Altitude of Noon Sun at Winter Solstice)**

มุมในเวลาเที่ยงที่ดวงอาทิตย์กำกับขอบฟ้าเรียกว่า altitude ความสำคัญของรูป

3.10 คือ

1. ที่ละติจูด  $23 \frac{10}{2}^{\circ} S$  ลานแสงของดวงอาทิตย์จะส่องมาถูกโลกเป็นมุม  $90^{\circ}$   
 (ดังนั้นดวงอาทิตย์จะอยู่กึ่งกลางพอดีของท้องฟ้าหรือ zenith) ในขณะเดียวกันมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับเส้น celestial equator (เส้นศูนย์สูตร) เรียกว่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (sun's declination) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ  $23 \frac{10}{2}$  เช่นเดียวกัน
2. ที่เส้นศูนย์สูตร มุมของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า คือ  $66 \frac{10}{2}$   
 (ซึ่งได้จาก  $90 - 23 \frac{10}{2}$ )
3. ที่เส้น อาร์คติก (arctic circle) ซึ่งเป็นละติจูด  $66 \frac{10}{2}^{\circ} N$   
 ดวงอาทิตย์อยู่ที่ขอบฟ้าพอดี ค่าความสูงของดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยง (sun's noon altitude) = 0 (ได้จาก  $90 - (23 \frac{1}{2} + 66 \frac{10}{2})$ )
4. ที่เส้นแอนตาร์คติก (antarctic circle) ซึ่งเป็นเส้นละติจูด  $66 \frac{10}{2}^{\circ} S$   
 ดวงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงทำมุมกับขอบฟ้าเป็นมุม  $47^{\circ}$  ซึ่งได้จาก  $90 - (66 \frac{1}{2} - 23 \frac{1}{2})$

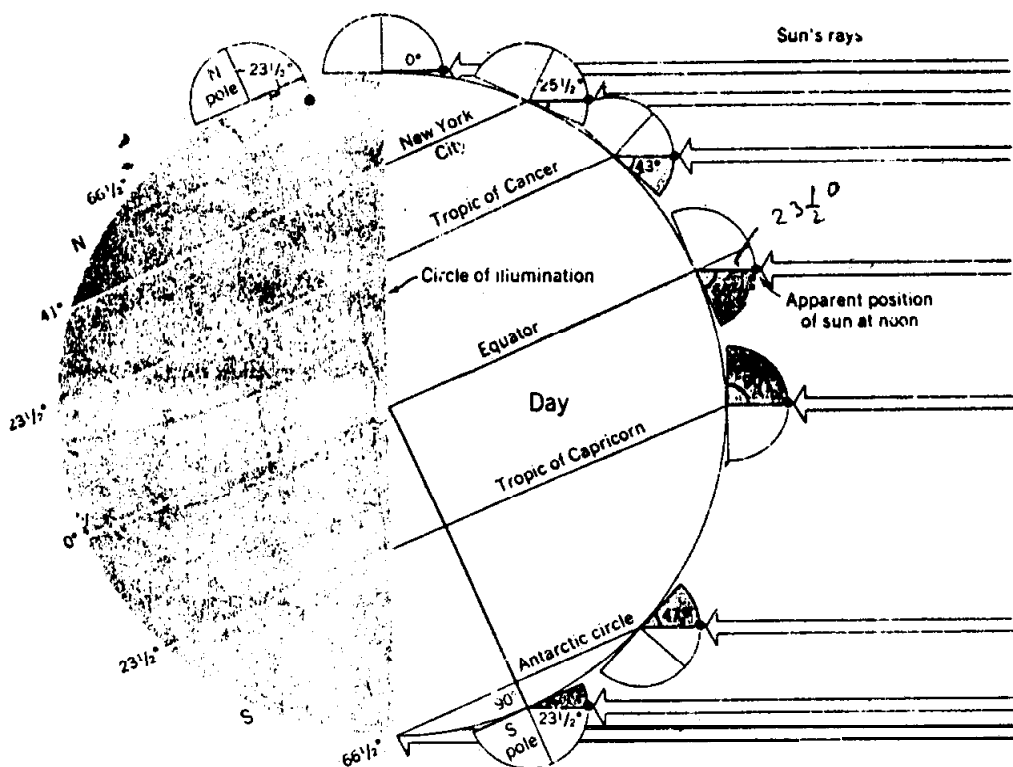
จากการพิจารณารูป 3.10 ทำให้ตั้งเป็นกฎได้ว่า ค่าของมุมดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า เวลาเที่ยงที่สถานที่ใด ๆ ได้จากนำค่า  $90^{\circ}$  ลบด้วยอาร์ค (arc) ของเมอริเดียนระหว่างสถานที่ที่ต้องการหามุมและลานแสงที่ส่องตั้งฉาก

จากกฎที่กล่าวแล้วเราสามารถคำนวณหาเส้นละติจูดของสถานที่ต่าง ๆ บนโลกได้ถ้าหากรู้ค่ามุมของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าและรู้ตำแหน่งละติจูดที่ดวงอาทิตย์ส่องตั้งฉาก

### ตัวอย่างที่ 3.2

จงคำนวณว่านครนิวยอร์ก จะตั้งอยู่ที่ละติจูดเท่าไร เมื่อมุม sun's noon altitude เท่ากับ  $25 \frac{10}{2}$

ให้ x เป็นเส้นละติจูดที่ต้องการหา



รูป 3.10 ลักษณะตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในท้องฟ้าที่ละติจูดต่าง ๆ ที่ตำแหน่งวินเตอร์ซอลสติซ

จากรูป ที่ตำแหน่ง winter solstice ดวงอาทิตย์ส่องตั้งฉากที่เส้นละติจูด

$23 \frac{10}{2}^{\circ}$  ได้ และ arc ของ meridian ระหว่างแสงอาทิตย์ ที่ส่องตั้งฉากกับนครนิวยอร์กมีค่า

$$23 \frac{1}{2} + x$$

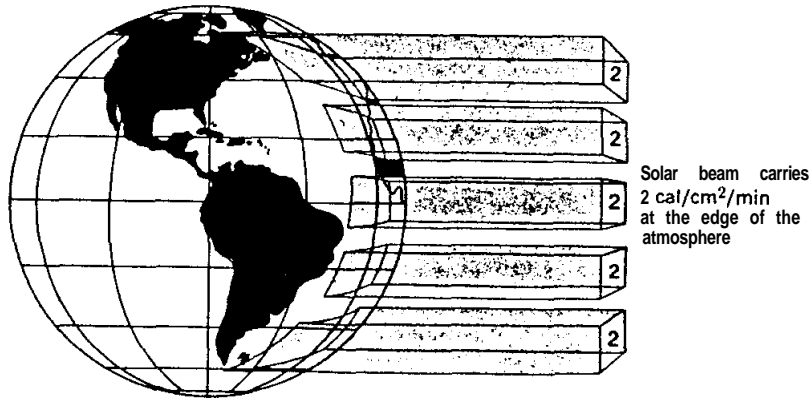
เพราะฉะนั้น ตั้งเป็นสมการได้ว่า

$$90 - (23 \frac{10}{2} + x) = 25 \frac{1}{2}$$

$$x = 41^{\circ}N$$

3.6 ค่าคงที่สุริยะ (The Solar constant, )

คำว่าค่าคงที่สุริยะให้คำจำกัดความว่าเป็นพลังงานของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่อันหนึ่งที่ส่วนยอดของบรรยากาศ โดยที่พื้นที่จะต้องตั้งฉากกับแสงอาทิตย์และเมื่อ โลกอยู่ห่างด้วยระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ ค่าประมาณของค่าคงที่สุริยะเท่ากับ 2.00 แคลอรีต่อตารางเซนติเมตรต่อเวลาหนึ่งนาที หรือเท่ากับ 1367 watt/m<sup>2</sup> รูป 3.11



รูป 3.11 ค่าคงที่สุริยะที่ขอบของบรรยากาศในตำแหน่งของอิกวีนอกซ์เส้นแสงจะจางเมื่อผ่านบรรยากาศเข้ามาและจะแผ่เป็นบริเวณกว้างที่ละติจูดสูง ๆ

ความรู้ในเรื่องค่าคงที่สุริยะมีประโยชน์ในการคำนวณหาพลังงานทั้งหมด (Flux) ที่มาจากดวงอาทิตย์ได้

จำนวนพลังงานแสงที่แผ่ออก (radiant energy) ต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ผ่านพื้นที่ผิวใด ๆ เราเรียกว่าฟลักซ์ของการแผ่รังสี (radiation flux) และมีหน่วยเป็น joule/sec.

สมมติให้ F เป็นฟลักซ์ที่แผ่ออกจากพื้นที่ผิวของดวงอาทิตย์ผ่านพื้นที่ทรงกลมที่ปิดล้อมไว้ทั้งหมด เนื่องจากทรงกลมมี 4π steradian ดังนั้นฟลักซ์ทั้งหมดที่ผ่านพื้นที่ผิวรูปทรงกลมในระยะทางใด ๆ ก็ตามในอวกาศจากผู้ให้กำเนิดรังสี (emittler) จะมีค่า

$$F = 4\pi r^2 E$$

เมื่อ F เป็นพลังงานต่อเวลา มีหน่วยเป็น joule/sec หรือ watt

r เป็นระยะทางเฉลี่ย (mean distance) จากโลกถึงดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 & 1.5 \times 10^8 \text{ km หรือเท่ากับ } 1.5 \times 10^{13} \text{ cm} \\
 E & \text{ เป็นค่าคงที่สุริยะเท่ากับ } 2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1} \text{ แทนค่าลงในสูตร} \\
 F & = 4 \times 3.1416 \times (2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1})(1.5 \times 10^{13} \text{ cm})^2 \\
 & = 5.65 \times 10^{27} \text{ cal min}^{-1} \\
 & = 3.94 \times 10^{26} \text{ watt ( 1 cal } \square 4.186 \text{ joule)} \\
 & = 3.94 \times 10^{20} \text{ MW (megawatt )}
 \end{aligned}$$

จากความรู้จำนวนฟลักซ์ทั้งหมดของดวงอาทิตย์ที่เราสามารถใช้คำนวณหาค่าคงที่สุริยะบนดาวพฤหัสบดีได้

### ตัวอย่างที่ 3.3

กำหนดให้จำนวนฟลักซ์ทั้งหมด (total flux) หรือ luminosity ของดวงอาทิตย์เท่ากับ  $3.94 \times 10^{26}$  MW จงคำนวณหาค่าคงที่สุริยะของดาวพฤหัสบดี เมื่อระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ถึงดาวพฤหัสบดีเท่ากับ  $7.773 \times 10^8$  km หรือ  $7.773 \times 10^{13}$  cm

$$\text{จากสูตร } F = 4\pi r^2 E$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } E = \frac{F}{4\pi r^2}$$

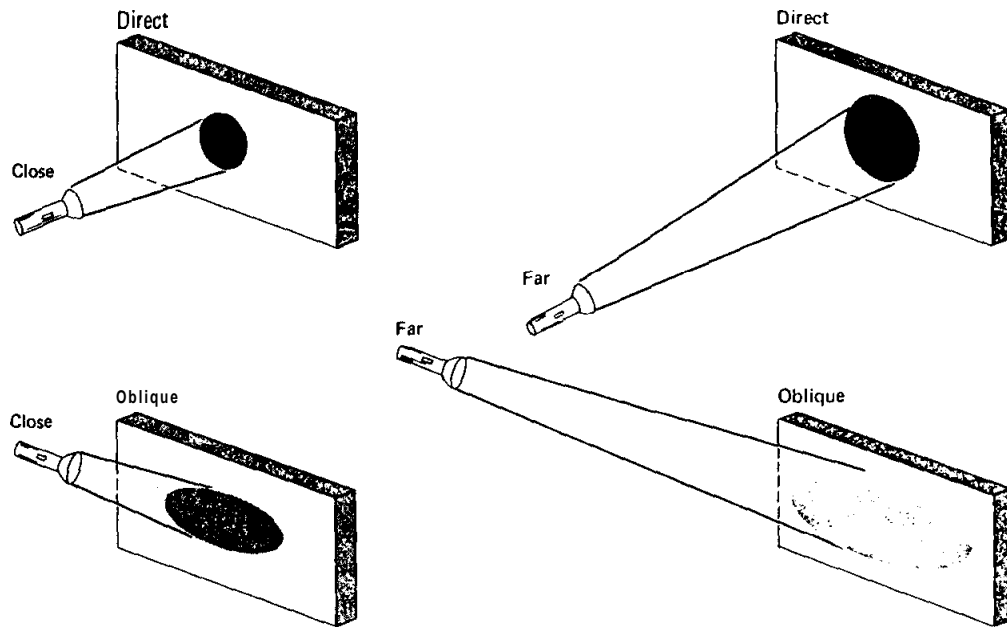
แทนค่าลงในสมการ

$$\begin{aligned}
 E & = \frac{5.56 \times 10^{27} \text{ cal min}^{-1}}{(7.773 \times 10^{13} \text{ cm})^2} \\
 & = 0.074 \text{ cal/cm}^2/\text{min}
 \end{aligned}$$

### 3.7 กฎทั่วไปสำหรับความเข้มของการแผ่รังสี

#### (The General Law for the Intensity of Radiation)

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทราบว่าความเข้มของแสงอาทิตย์นั้นขึ้นกับความสูงของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในท้องฟ้า สมมติว่าเรานำไฟฉายมาส่องที่ผนังในห้องมืด โดยครั้งแรกยื่นชิดกับผนังและส่องตรงไปยังผนังห้อง เราจะเห็นวงกลมสว่างเล็ก ๆ ต่อไปถ้าเราเปลี่ยนเป็นส่องเอียงไปยังผนัง เราจะเห็นเป็นรูปไข่ (ellipse) ที่มีขนาดโตขึ้นแต่ความเข้มของแสงสว่างจะลดลงครึ่งที่สองเราถอยหลังออกไปให้ไกลกว่าเดิมขึ้นแล้วส่องไฟฉายตรงไปยังฝาผนังห้องอีกวงกลมของแสงสว่างจะโตขึ้นกว่าครั้งแรกและถ้าเราส่องเอียงก็จะได้รูปไข่ที่โตขึ้นและมีแสงสว่างน้อยลงเช่นเดียวกัน (ดูรูป 3.12) เราพบว่าในแต่ละกรณีนั้น จำนวนแสงทั้งหมดที่ตกกระทบฝาผนังห้องมีค่าเท่าเดิม



รูป 3.12 รูปแสดงถึงกฎทั่วไปของความเข้มในการแผ่รังสี แสงจะเข้มมากที่สุดเมื่ออยู่ใกล้ฝาผนัง และจะเข้มน้อยเมื่อต้นกำเนิดแสงอยู่ห่างจากฝาผนัง

แต่จะมีความเข้มลดลงเมื่อมันกระจายออกบนพื้นที่ที่ใหญ่ขึ้น โดยหลักการนี้ เราสามารถเขียนกฎความเข้มของแสงโดยทั่วไปได้ดังนี้โดยให้  $R$  หมายถึง จำนวนรังสีทั้งหมดซึ่งมีค่าคงที่ และจะมีค่าเท่ากับ  $(I)$  ความเข้มของการแผ่รังสีคูณด้วย  $(A)$  ซึ่งเป็นพื้นที่ที่แสงแผ่กระจายออก และเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$R = (I_a)(A_a) = (I_c)(A_c)$$

หรือจัดรูปใหม่

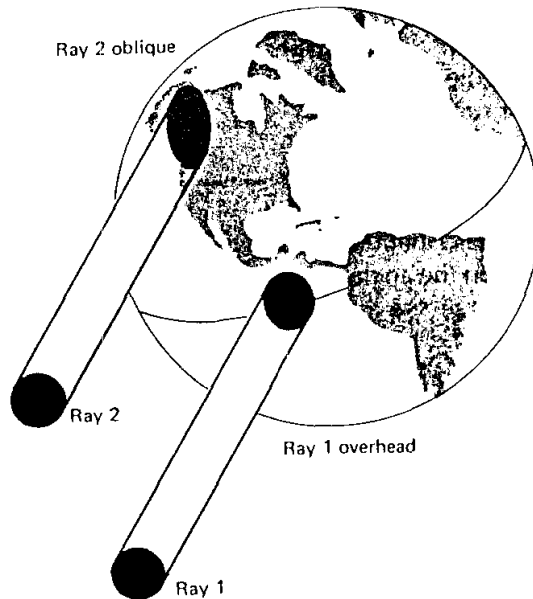
$$I_c = I_a \left( \frac{A_a}{A_c} \right)$$

สำหรับตัวห้อยท้ายมีความหมายถึงพื้นที่  $a$  และ  $c$  นั้นเอง



### 3.8 กฎของไซน์ สำหรับความเข้มของแสงอาทิตย์ (The Sine Law of Sunlight Intensity)

จำนวนแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่กระจายบนพื้นดินนั้นขึ้นกับมุมของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในท้องฟ้า ดังนั้นในรูป 3.13 เราจะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ต่ำในท้องฟ้าในขณะที่ขึ้นไปยังละติจูดสูง ๆ แถวขั้วโลก เมื่อเป็นเช่นนั้น แสงอาทิตย์และแผ่กระจายเป็นรูปอิลลิปส์ออกเป็นบริเวณกว้างและมีความเข้มน้อย โดยกลับกันใกล้ ๆ กับบริเวณศูนย์สูตรนั้นแสงอาทิตย์จะเกือบอยู่ตรงศีรษะ ซึ่งทำให้แสงที่ได้รับเป็นรูปวงกลมที่เล็กลงและมีความเข้มที่มากกว่า

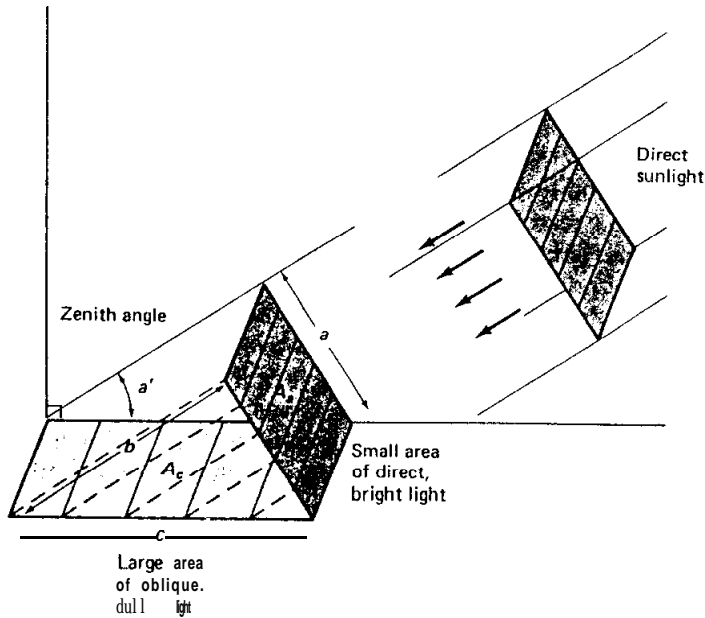


รูป 3.13 แสงอาทิตย์ที่ส่องในแต่ละละติจูดสูง ๆ จะแผ่กระจายมากขึ้นและความเข้มของแสงจะจางลง

ต่อไปเราจะใช้กฎความเข้มโดยทั่วไปและรูป 3.14 เพื่อหาว่าความเข้มของแสงขึ้นกับมุมของแสงอย่างไร จากรูป 3.14 ด้าน a, b และ c เป็นด้านของสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งด้าน c เป็นด้านที่อยู่ตรงกันข้ามกับมุมฉาก ด้าน a อยู่ตรงกันข้ามกับมุมของดวงอาทิตย์ ( $a'$ ) ดังนั้นค่า  $\sin$  ของมุม  $a'$  จะมีสูตรว่า

$$\sin a' = \frac{\text{ด้านตรงข้ามมุม}}{\text{ด้านตรงข้ามมุมฉาก}} = \frac{a}{c}$$

หรือ  $\sin a' = A_a / A_c$



รูป 3.14 รูปแสดงกฎของไซน์ที่ประยุกต์ใช้กับความเข้มของแสง

โดยการแทนค่าในกฎความเข้มโดยทั่วไป จะได้กฎของไซน์คือ

$$I_c = I_a (\sin a')$$

ตัวอย่างที่ 3.4

จงเปรียบเทียบความเข้มของแสงในเวลาเที่ยงที่นครนิวยอร์กในวันที่ 21 มิถุนายน กับความเข้มในวันที่ 21 ธันวาคม

ข้อมูล : ในเวลาเที่ยงของวันที่ 21 มิถุนายน ในนครนิวยอร์ก  $a' = 73^\circ$  และในเวลาเที่ยงของวันที่ 21 ธันวาคม  $a' = 26^\circ$

ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ส่องตั้งฉาก =  $2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  (ค่าประมาณ)

จากสมการ

$$I_c = I_a (\sin a')$$

วิธีทำ

ในวันที่ 21 มิถุนายน

$$\begin{aligned}
 I_c &= (I_a)(\sin 73^\circ) \\
 &= (2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1})(0.956) \\
 &= 1.912 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}
 \end{aligned}$$

สำหรับวันที่ 21 ธันวาคม

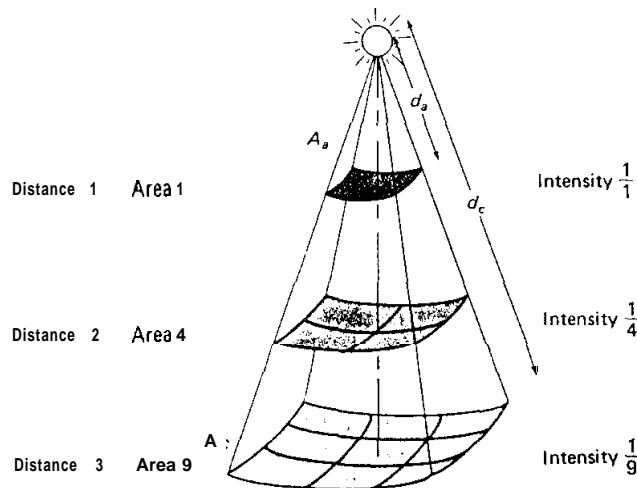
$$\begin{aligned}
 I_c &= (I_a)(\sin 26^\circ) \\
 &= (2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1})(0.438) \\
 &= 0.876 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}
 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าแสงอาทิตย์ในเวลาเที่ยงของนครนิวยอร์กจะมีความเข้มในวันที่ 21 มิถุนายน มากกว่าในวันที่ 21 ธันวาคมถึงสองเท่า

### 3.9 กฎกำลังสองผกผัน (The Inverse Square law)

จากบทที่แล้วเราพบว่าเมื่อไฟฉายยิงห่างออกไป วงกลมของแสงก็จะขยายมากขึ้น และมีความเข้มน้อยลง เช่นเดียวกับแสงอาทิตย์ถ้ายิ่งไกลออกไปความเข้มของแสงก็จะลดลงเช่นเดียวกัน ในหัวข้อนี้เราจะหาว่าเมื่อแสงไกลออกไปความเข้มของแสงก็จะลดลงเหลือกี่เท่า ซึ่งเป็นกฎกำลังสองผกผันนั่นเอง

จากรูป 3.15 จะช่วยอธิบายให้เข้าใจถึงกฎกำลังสองผกผันได้ง่ายขึ้น จากรูป



รูป 3.15 รูปแสดงกฎกำลังสองผกผันที่ประยุกต์ใช้กับความเข้มของแสง

เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า แสงจะแผ่กระจายกว้างขึ้นเป็น 9 เท่าของพื้นที่ โดยทั่วไปแล้ว เราพบว่าพื้นที่ของแสงเปลี่ยนแปลงตามระยะทางยกกำลังสอง ซึ่งเขียนในรูปคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$A_a / A_c = (d_a / d_c)^2$$

เมื่อเราแทนค่าสมการนี้ลงในกฎความเข้มโดยทั่วไป (general intensity law) เราได้กฎกำลังสองผกผันดังนี้

$$I_c = I_a (d_a / d_c)^2$$

### ตัวอย่างที่ 3.5

จงหาความเข้มของแสงอาทิตย์บนดาวพฤหัสบดี

ข้อมูล : เราทราบ (1) ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ถึงจากบนพื้นโลกคือ

$I_a = 2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$  และ (2) ดาวพฤหัสบดีอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ไกลกว่าโลก 5.2 เท่า

ในรูปของสมการเขียนได้ว่า

$$1. \quad I_a = 2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

$$2. \quad d_a / d_c = 1.0 / 5.2 \text{ หรือ } (d_a / d_c)^2 = 1.0 / 27.0$$

แทนค่าเหล่านี้ลงในกฎกำลังสองผกผัน

$$I_c = I_a (d_a / d_c)^2$$

$$= (2.0 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}) \left( \frac{1.0}{27.0} \right)$$

$$\approx 0.074 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$$

จากคำตอบที่หาได้เราพบว่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ถึงจากกับดาวพฤหัสบดีจะมีค่า

ประมาณ  $\frac{1}{14}$  เท่ากับพื้นโลก ดังนั้นดาวพฤหัสบดีจะเป็นดาวที่เย็นกว่าโลกมาก