

บทที่ 1

บรรยากาศ (Atmosphere)

- 1.1 ความน่าเกี่ยวกับบรรยากาศ
- 1.2 อะตอมและโมเลกุล
- 1.3 ส่วนประกอบของบรรยากาศ
- 1.4 ช่องแข็ง ช่องเหลว และแก๊ส
- 1.5 ปรากฏการณ์ที่มองเห็น ในบรรยากาศ
 - 1.5.1 การสะท้อน
 - 1.5.2 การหักเห
 - 1.5.3 การกระจาย
 - 1.5.4 สายรุ้ง
 - 1.5.5 วงแหวน
 - 1.5.6 โคโรนา
 - 1.5.7 มิราจ

1.1 ความน่าเกี่ยวกับบรรยากาศ (Introduction to the Atmosphere)

คนเราน่าสนใจเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศมาตั้งแต่สมัยโบราณ เนื่องจากมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของเราตลอดเวลา เสื้อผ้าที่เราสวมใส่ ผักและข้าวที่เรารับประทาน สัตว์ที่เลี้ยง ล้วนมีผลจากลมฟ้าอากาศทั้งสิ้น

กาลอากาศ (weather) ก็คือสภาวะของบรรยากาศในเวลาอันหนึ่งและสถานที่อันหนึ่ง ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา (meteorological elements) ที่เป็นตัวแปรคงที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์หลายตัวมารวมกัน เช่น อุณหภูมิ จำนวนเมฆและชนิดของเมฆ หยาดน้ำฟ้า (precipitation) ความเร็วลมและทิศทางของลม ความกดอากาศ ความชื้น การระเหย จำนวนแสงแดด และการแผ่รังสี เป็นต้น ค่าของกาลอากาศจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ชั่วโมงต่อชั่วโมง หรือวันต่อวัน ส่วนคำว่า อุตุนิยมวิทยา (meteorology) ก็คือการศึกษาถึงวิทยาศาสตร์ของบรรยากาศและกระบวนการที่ทำให้เกิดกาลอากาศนั่นเอง สำหรับคำว่า ภูมิอากาศ (climate) นั้น โดยทั่วไป มักจะให้คำจำกัดความว่าเป็นการเฉลี่ยค่าของกาลอากาศในระยะเวลานาน ๆ ซึ่งความจริงแล้วมีความหมายมากกว่านี้ การเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยเช่น ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของกาลอากาศ การผันแปรต่าง ๆ (variability) ก็เป็นสิ่งสำคัญของภูมิอากาศ ยกตัวอย่างเช่น จะเป็นประโยชน์ที่จะรู้ ไม่เพียงแต่ค่าเฉลี่ยของภูมิอากาศของเดือนมกราคม ในเวลาหลาย ๆ ปี แต่ยังมีประโยชน์ที่จะรู้ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่เคยจดสถิติมา ภูมิอากาศสามารถใช้เป็นตัวพิจารณาถึงผลสุดท้ายของการควบคุมสิ่งแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศเป็นตัวพิจารณาถึงพืชที่สามารถปลูกได้ เป็นต้น

บรรยากาศซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดกาลอากาศขึ้นนั้นประกอบด้วยส่วนประกอบของแก๊สต่าง ๆ อนุภาคของแข็งและของเหลวที่แขวนตัว (suspend) อยู่ อนุภาคเหล่านี้ได้แก่หยดน้ำเล็ก ๆ และผลึกน้ำแข็งที่มองเห็นได้ในรูปของก้อนเมฆ บรรยากาศที่หุ้มห่อโลกค่อนข้างจะดัน 99 เปอร์เซ็นต์ของมวลที่เป็นส่วนประกอบของบรรยากาศจะมีความหนาประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่าศูนย์กลางของโลก ดังนั้นความหนาของบรรยากาศก็เปรียบได้เพียงเปลือกของผลแอปเปิ้ลเท่านั้น

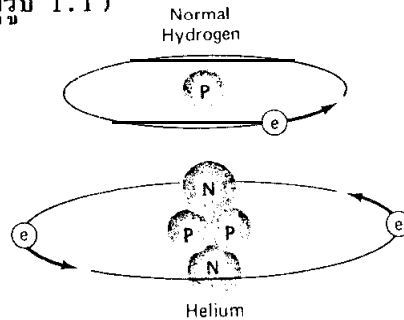
บรรยากาศมีความจำเป็นต่อสิ่งแวดล้อมของคนเรา คือจะป้องกันสิ่งมีชีวิตให้พ้นจากอันตรายของรังสีอัลตราไวโอเล็ตและคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ นอกจากนี้บรรยากาศยังมีแก๊สที่ช่วยในการหายใจและการสังเคราะห์แสงของพืช มีไอน้ำที่ช่วยในการดำรงชีวิตของสัตว์และพืช เป็นต้น

1.2 อะตอมและโมเลกุล (Atoms and Molecules)

วัตถุทุกชนิดไม่ว่าเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส จะประกอบด้วยอะตอมหรือโมเลกุลหลาย ๆ โมเลกุลรวมตัวกัน ในแก๊สหรือของเหลว อะตอมหรือโมเลกุลเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ แต่ในของแข็งจะถูกทำให้ติดแน่นอยู่กับที่ และมักจะเรียงตัวเป็นแถวในลำดับที่แน่นอน

(lined up in a precise order) เพื่อให้ให้เกิดผลึก

ในแต่ละอะตอมประกอบด้วยนิวเคลียส (nucleus) ที่อยู่ตรงกลางซึ่งมีโปรตอนและนิวตรอนรวมกันอยู่อย่างกระชับแน่น อิเล็กตรอนจะหมุนไปรอบ ๆ นิวเคลียสคล้ายกับดาวเคราะห์หมุนรอบดวงอาทิตย์นั่นเอง (ดูรูป 1.1)



รูป 1.1 อะตอมมีลักษณะเหมือนสุริยะจักรวาลขนาดเล็ก อิเล็กตรอนจะหมุนรอบนิวเคลียสที่ประกอบด้วยนิวตรอนและโปรตอนด้วยแรงไฟฟ้า รูปที่เห็นจะเป็นอะตอมของไฮโดรเจนและฮีเลียม

สำหรับจำนวนของนิวตรอนสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่โดยปกติมักจะมีจำนวนใกล้เคียงกับจำนวนของโปรตอน

น้ำหนักของอะตอมเกือบจะเท่ากับจำนวนโปรตอนบวกกับนิวตรอน เนื่องจากต้องใช้จำนวน 1836 อิเล็กตรอน จึงจะเท่ากับน้ำหนักของโปรตอนหรือนิวตรอน ดังนั้นน้ำหนักของอิเล็กตรอนจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักอะตอมทั้งหมด

ธาตุที่มีอะตอมที่เบาที่สุดคือไฮโดรเจน รูปร่างที่เป็นปกติของไฮโดรเจนอะตอม จะประกอบด้วยโปรตอนหนึ่งตัว และอิเล็กตรอนหนึ่งตัว ดังนั้นน้ำหนักอะตอมจะมีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งหมายความว่าเราต้องใช้ 6.02×10^{23} อะตอมของไฮโดรเจนธรรมดาจึงจะหนักเท่ากับ 1 กรัม

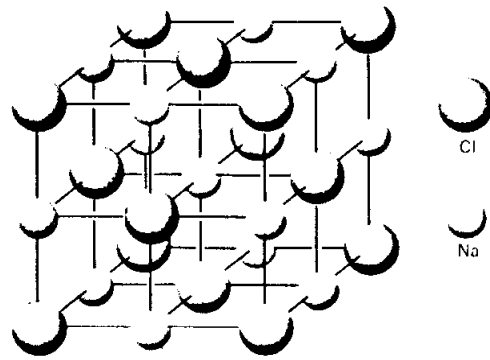
รูปร่างปกติของออกซิเจนอะตอมจะมี 8 โปรตอนและ 8 นิวตรอน ดังนั้น น้ำหนักอะตอมจะเท่ากับ 16 นั่นคือต้องใช้ 6.02×10^{23} อะตอมของออกซิเจนธรรมดาจึงจะหนักเท่ากับ 16 กรัม สำหรับค่า 6.02×10^{23} นั้นเราเรียกว่าอะโวกาโดรน์ัมเบอร์ (Avogadro's number) ปกติไฮโดรเจนอะตอมจะมีโปรตอน 1 ตัว และจะไม่มีนิวตรอน ไฮโดรเจนอะตอมที่มีนิวตรอนเพิ่ม 1 นิวตรอน หรือมีเพิ่ม 2 นิวตรอนนั้นเรียกว่า ไอโซโทป (isotope) ออกซิเจนปกติจะมี 8 โปรตอนและ 8 นิวตรอน แต่อาจจะมีนิวตรอนได้ 9 หรือ 10 นิวตรอนก็ได้

ไอโซโทปมีประโยชน์หลายประการเช่น ใช้หาอายุของก้อนหินและฟอสซิล (fossils) และยังบอกถึงอุณหภูมิของโลกในอดีตได้ด้วย

ดาวเคราะห์สามารถอยู่ในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ได้ด้วยแรงดึงดูดอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง (gravitational attraction) เช่นเดียวกับอิเล็กตรอนถูกทำให้อยู่ในวงจรรอบนิวเคลียสด้วยแรงดึงดูดของประจุไฟฟ้า (electrical attraction) ตามข้อตกลงโปรตอนจะมี

ประจุ เป็นบวกและอิเล็กตรอนจะมีประจุเป็นลบ สำหรับนิวตรอนจะเป็นกลางและไม่มีประจุ ตามกฎพื้นฐานของไฟฟ้า ประจุที่ต่างกันจะดึงดูดซึ่งกันและกัน ในขณะที่ประจุที่เหมือนกันจะผลักซึ่งกันและกัน ดังนั้นการดึงดูดกันจึงทำให้อิเล็กตรอนหมุนอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสได้ แต่กฎที่กล่าวมาแล้ว ไม่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมโปรตอนหลายตัวจึงสามารถอยู่ในนิวเคลียสได้ คำตอบก็คือมีแรงพิเศษที่เรียกว่า แรงนิวเคลียร์ (nuclear forces) สามารถทำให้โปรตอนและนิวตรอนอยู่ด้วยกันได้ แรงนิวเคลียร์นี้ไม่ค่อยมีผลในการทำงานในอะตอมที่ใหญ่ ดังนั้นอะตอมใหญ่ ๆ จึงมีการแตกตัวแบบกัมมันตภาพรังสี (radioactively)

ลองมาพิจารณาถึงเกลือแกง (NaCl) ที่เราใช้รับประทานจะพบว่ามีผลึกเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (ดูรูป 1.2)

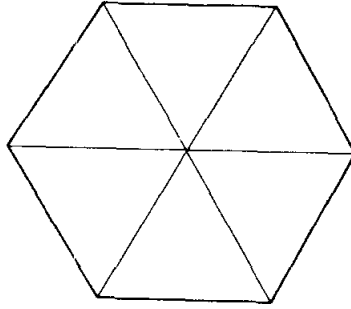


รูป 1.2 การจัดรูปของอะตอมในผลึกของเกลือแกง ซึ่งทำให้เกลือมีรูปร่างของผลึกเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

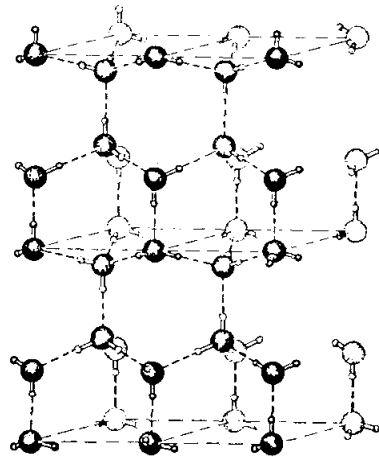
สำหรับแร่ธาตุ (minerals) ทุกชนิด เพชร และน้ำแข็ง ก็จะมีรูปร่างเป็นผลึกเช่นเดียวกัน การที่วัตถุต่าง ๆ เกิดรูปผลึกขึ้นมาได้เพราะอะตอมของวัตถุเหล่านั้นเรียงเป็นแนวเส้นตรงที่มีลำดับอย่างเจาะจงขึ้นเป็นแถวและคอลัมน์ (align in a specific order into columns and rows) รูปร่างต่าง ๆ ของผลึกมักเกิดจากลำดับที่อะตอมเรียงขึ้นเป็นแถว ดังนั้นเกลือแกงจะเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ เนื่องจากไฮเดียมและคลอรีน อะตอม เรียงขึ้นเป็นแถวในรูปโครงสร้างของสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (cubic lattice)

ผลึกที่นักอุทกนิยวิทยารู้จักดีที่สุดคือผลึกของน้ำแข็ง ซึ่งมีลักษณะฐานเป็นรูปหกเหลี่ยม (hexagonal) การเกิดเป็นรูปหกเหลี่ยมนี้เกิดจากโครงสร้างของโมเลกุลของน้ำ และตำแหน่งอะตอมของไฮโดรเจนทำมุมเท่ากับ 120°

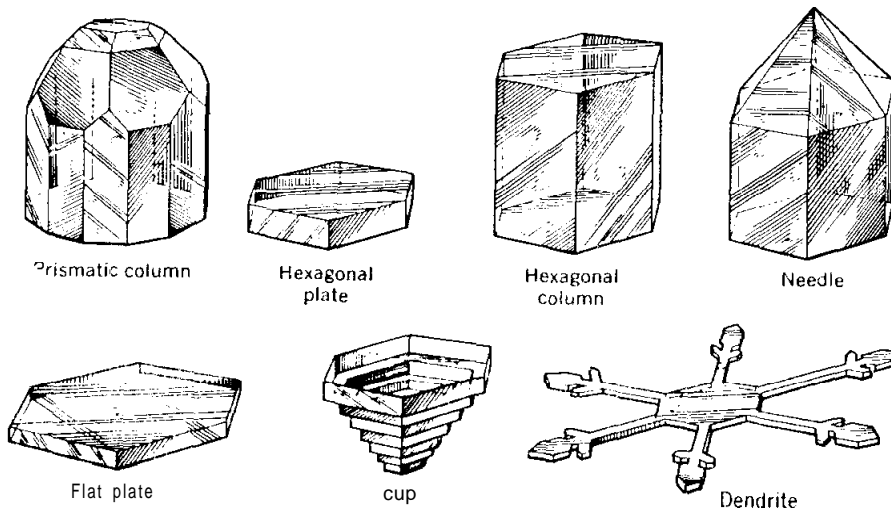
ดังนั้นมุมแต่ละมุมของ hexagonal เท่ากับ 120° (ดูรูป 1.3 รูป 1.4 และรูป 1.5)



รูป 1.3 รูป hexagonal ซึ่งเป็นแบบพื้นฐานของน้ำแข็ง



รูป 1.4 รูปโครงสร้างของผลึกน้ำแข็ง



รูป 1.5 รูปร่างของผลึกน้ำแข็ง

1.3 ส่วนประกอบของบรรยากาศ (Composition of the Atmosphere)

ในระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตรของบรรยากาศโลก แก๊สหลายชนิดจะผสมกัน อย่างกลมกลืนซึ่งได้แก่แก๊สไนโตรเจนซึ่งมี 70.08% ออกซิเจนมี 20.95% อาร์กอน (Ar) มี 0.93% และคาร์บอนไดออกไซด์ มี 0.033% โดยปริมาตรจำนวนเปอร์เซ็นต์ของแต่ละแก๊สนี้ได้ จากน้ำเอาอากาศแห้งซึ่งนำเอาไอน้ำออกจนหมดมาวิเคราะห์

Composition of Dried Air^a

| Constituent | Percent of | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | Total Molecules | Percent of Mass |
| Nitrogen (N ₂) | 78.08 | 75.51 |
| oxygen (O ₂) | 20.95 | 21.14 |
| Argon (Ar) | 0.93 | 1.28 |
| Carbon dioxide (CO ₂) | 0.0325 | 0.049 |
| Neon (Ne) | 0.0018 | 0.0012 |
| Helium (He) | 0.0005 | 0.0001 |
| Krypton (Kr) | 0.0001 | 0.0003 |
| Hydrogen (H) | 0.00005 | 0.000002 |
| Ozone (O ₃) ^b | 0.0006 | 0.0010 |

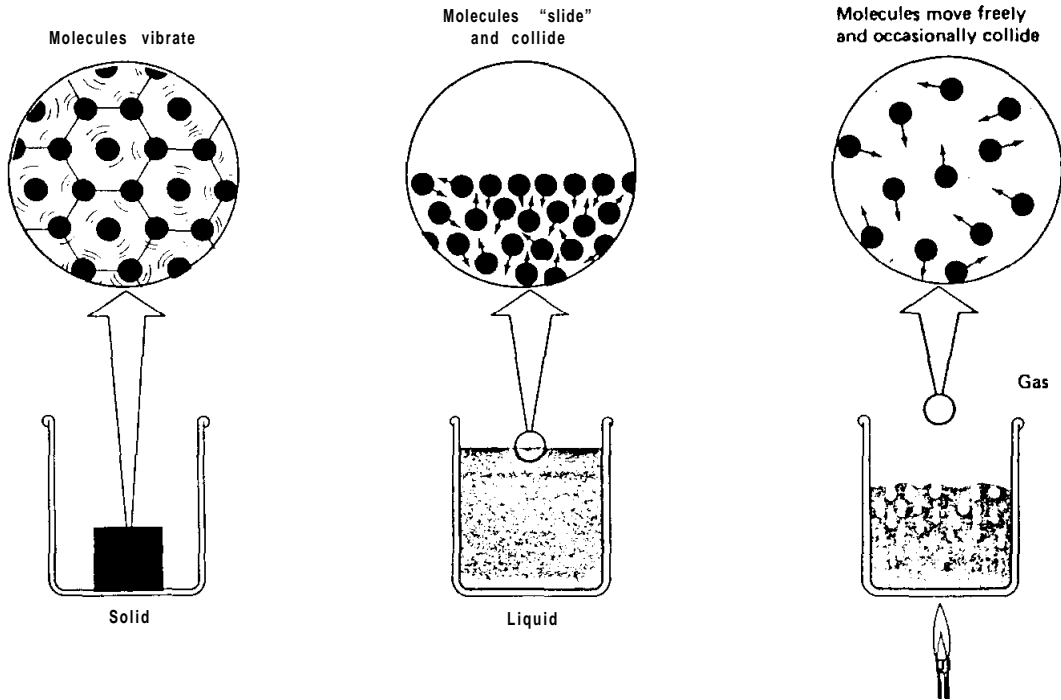
ตาราง 1.1 ส่วนประกอบของอากาศแห้ง

สำหรับจำนวนไอน้ำในบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวันและแต่ละสถานที่ ในอากาศนั้นจะต้องมีจำนวนไอน้ำจำนวนเล็กน้อยอยู่ด้วยเสมอ ไม่ว่าจะอยู่ในทะเลทรายที่แห้งแล้งหรือในทวีปโลกที่ยือกเย็นก็ตาม และจะมีมากที่สุดได้ 4% ในป่าชื้นของเขตร้อน ไอน้ำเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นเช่นเดียวกับแก๊สอื่น จึงมีความแตกต่างจากน้ำหรือหยดน้ำที่เรามองเห็นได้

แก๊สโอโซน (O₃) ก็มีค่าเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน ที่พื้นผิวของโลกอากาศมี O₃ ได้ถึง 0.00007% แม้แต่ในชั้นของโอโซนเบื้องบนความเข้มข้นของโอโซนอาจเปลี่ยนแปลงจาก 0.0001 ถึง 0.0002% โอโซนมีจำนวนน้อยมากในบรรยากาศ อย่างไรก็ตามเนื่องจากมันสามารถดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเล็ตคลื่นสั้นเอาไว้ จึงช่วยป้องกันแสงอาทิตย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ไว้ได้

1.4 ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส (Solid Liquid and Gas)

สสารทุกชนิดจะปรากฏเป็นของแข็งของเหลวหรือแก๊สอย่างใดอย่างหนึ่ง ในของแข็งโมเลกุลจะติดแน่นเข้าด้วยกัน แต่สามารถลั่นสะเทือนได้เล็กน้อย ในของเหลว โมเลกุลสามารถเลื่อนสลับตำแหน่ง (slide) ขึ้นไปอยู่เหนือโมเลกุลอื่นได้ แต่ไม่สามารถเดินทางอิสระออก (wander away) จากมวลได้ สำหรับในแก๊ส โมเลกุลจะไม่ติดแน่นเข้าด้วยกันแต่สามารถเคลื่อนที่เป็นอิสระรอบ ๆ ที่ว่างและชนกันในบางครั้ง (รูป 1.6)



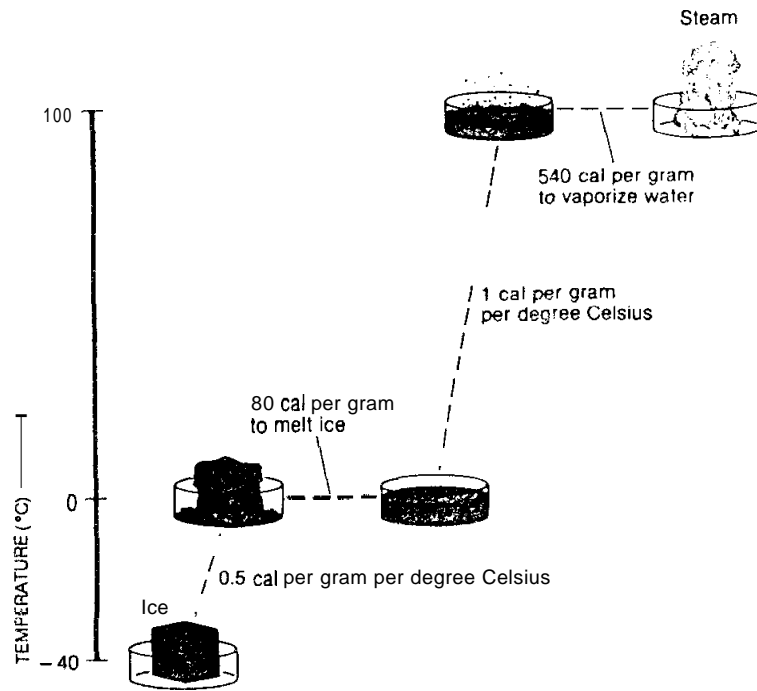
รูป 1.6 โมเลกุลของของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

พันธะเคมี (chemical bond) ซึ่งความจริงเป็นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า จะพยายามรักษาให้โมเลกุลอยู่ด้วยกันในรูปของของแข็ง (solid form) อย่างไรก็ตามเมื่อโมเลกุลของของแข็งถูกทำให้ร้อนมันจะเริ่มสั่นสะเทือนมากขึ้นทุกที จนกระทั่งสุดท้ายมีพลังงานมากพอที่จะเลื่อนหลุดออกไป เมื่อถึงจุดนี้เราพูดว่าของแข็งเกิดการหลอมละลาย และถ้ายังคงให้ความร้อนเพิ่มในของเหลวนั้นต่อไปอีก โมเลกุลจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้น จนกระทั่งมีพลังงานมากพอที่จะหลุดออกจากโมเลกุลอื่น ๆ ได้ ซึ่งเราเรียกว่าของเหลวระเหยหรือเดือดนั่นเอง ซึ่งจะกลายเป็นแก๊สไปในที่สุด

กระบวนการเหล่านี้อาจกลับกันได้ แต่ไม่เป็นไปอย่างง่ายตาย ตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงกว่า 0°C น้ำแข็งก็จะหลอมเหลวเป็นน้ำโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลมีพลังงานมากเกินไปที่จะอยู่เป็นแถวเดียวกันให้เป็นรูปผลึกได้อีก แต่กลับกันเราอาจจะต้องทำให้หยดน้ำเล็ก ๆ ในก้อนเมฆเย็นลงจนถึง -40°C ก่อนที่มันจะต้องแข็งตัว

หยดน้ำเล็ก ๆ จะไม่แข็งตัวทันทีที่ 0°C โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลไม่ได้เรียงเป็นแถวโดยอัตโนมัติในลำดับที่เหมาะสมเพื่อที่จะฟอร์มเป็นรูปผลึกนั้นแข็งขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า supercooling ซึ่งค้นพบโดย Gabriel Fahrenheit ในปี ค.ศ. 1724

ในทางอุณหภูมิมิถวิทยาจะมีความเกี่ยวพันอย่างมากกับการเปลี่ยนสถานะ เช่นการเปลี่ยนสถานะระหว่างน้ำแข็ง น้ำ และไอน้ำ และในการเปลี่ยนสถานะนี้เกี่ยวข้องกับความร้อนจำนวนมากมาย ดังแสดงในรูป 1.7 และรูป 1.8

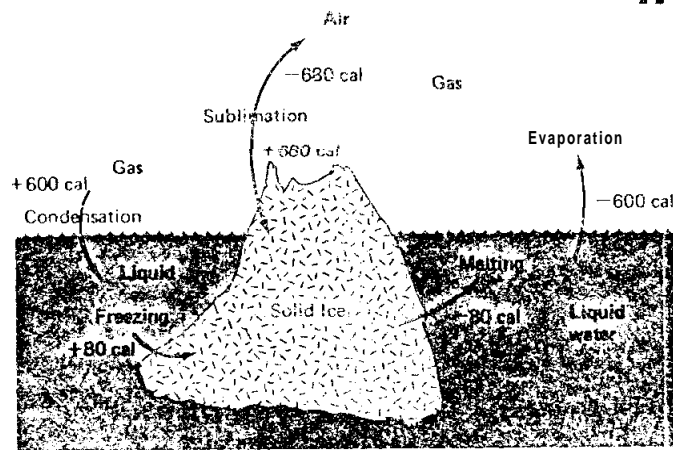


รูป 1.7 เมื่อความร้อนถูกใส่ลงในน้ำแข็งสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ก็จะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวและไอน้ำ

น้ำแข็งรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ -40°C ถูกทำให้ร้อนขึ้น เนื่องจากความร้อนจำเพาะของน้ำแข็งประมาณ 0.5 แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส ดังนั้นความร้อน 0.5 แคลอรีจะต้องใส่เข้าไปสำหรับที่จะให้อุณหภูมิของน้ำแข็งเพิ่มขึ้นทุก ๆ หนึ่งองศา เมื่ออุณหภูมิมาถึง 0°C ความร้อนจะต้องเพิ่มเข้าไป 80 แคลอรีต่อกรัม (เรียกความร้อนนี้ว่า ความร้อนแฝงของการหลอมละลาย heat of fusion หรือ heat of melting) เพื่อที่จะไปทำลายแรงที่ทำให้โมเลกุลของน้ำแข็งยึดติดกัน เมื่อถึงจุดนี้อุณหภูมิของน้ำและน้ำแข็งยังเป็น 0°C จนกระทั่งน้ำแข็งทั้งหมดถูกละลาย ความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่า 1.0 แคลอรีต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส ดังนั้นตั้งแต่จุดนี้ความร้อนเพียง 1.0 แคลอรีเท่านั้นที่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ 1 กรัม ขึ้นไป 1°C นั่นคือต้องเพิ่มความร้อนเข้าไปอีก 100 แคลอรี ที่จะทำให้น้ำ 1 กรัม ไปถึงจุดเดือดที่ 100°C สำหรับการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นไอน้ำนั้น ต้องการความร้อนที่มากยิ่งขึ้นไปกว่าการเปลี่ยนน้ำแข็งเป็นน้ำ ความร้อนแฝงของการระเหย (heat of vaporization) จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ คือจะเปลี่ยนแปลงจาก 600 แคลอรีต่อกรัมที่ 0°C ไปยัง 540 แคลอรีต่อกรัมที่ 100°C สำหรับกระบวนการที่กลับกัน นั่นคือเมื่อไอน้ำเย็นลงจนกลายเป็นน้ำและน้ำแข็ง อุณหภูมิก็จะลดลงหรือการเปลี่ยนสถานะจะเกิดขึ้น และความร้อนจำนวนเท่ากันก็จะถูกปล่อยออกมา

ความร้อนจะต้องได้จากสิ่งแวดล้อมเพื่อที่จะทำให้น้ำแข็งละลายหรือทำให้น้ำระเหย ดังนั้นการหลอมละลายและการระเหยจะเป็นกระบวนการที่ทำให้สิ่งแวดล้อมเย็นลง และโดยกระบวนการกลับกัน การเยือกแข็งและการควบแน่นเป็นกระบวนการที่ทำให้สิ่งแวดล้อมร้อนขึ้น

ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ไอน้ำอาจเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของแข็งเลยก็ได้โดยไม่ต้องผ่านการเป็นน้ำ เช่นการเกิดน้ำค้างแข็ง (frost) บนพื้นดิน กระบวนการนี้เรียกว่า deposition หรือ crystallization และความร้อนแฝงจะถูกคายออกมาให้สิ่งแวดล้อม ในกรณีที่ของแข็งเปลี่ยนสภาพกลายเป็นไอเลยก็ได้ โดยไม่ต้องละลายเป็นน้ำ เราเรียกว่าการระเหิด (sublimation) เช่น หิมะ หรือน้ำแข็งสามารถระเหิดกลายเป็นไอ เป็นต้น ความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการระเหิดจะมีค่าประมาณ 680 แคลอรีต่อกรัม (ดูรูป 1.8)



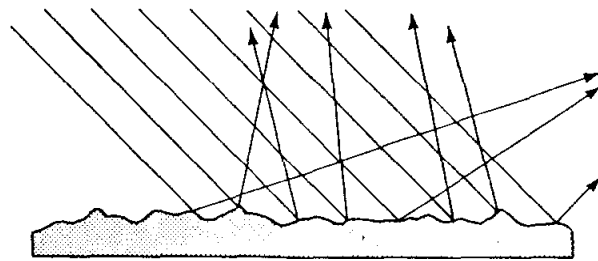
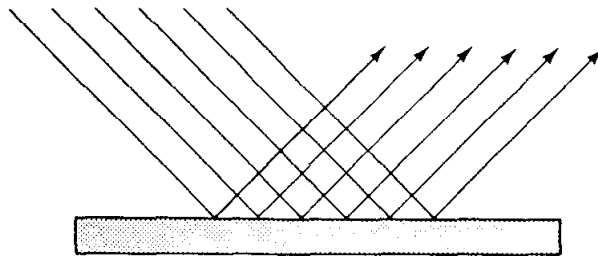
รูป 1.8 การเปลี่ยนสถานะต่าง ๆ ความร้อนที่เกี่ยวข้องจะเป็นจำนวนแคลอรีต่อหนึ่งกรัมที่ 0°C เครื่องหมายบวกหมายถึงความร้อนถูกปล่อยให้แก่สิ่งแวดล้อม ส่วนเครื่องหมายลบ ความร้อนจะเอาออกจากสิ่งแวดล้อม

1.5 ปรากฏการณ์มองเห็นในบรรยากาศ (Atmospheric Optics)

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านบรรยากาศนั้น แสงอาจจะถูกหักเห (refracted) เกิดการสะท้อน (reflected) เกิดการเลี้ยวเบน (diffracted) เกิดการสอดแทรก (interfere) หรือเกิดการกระจาย (dispersion) โดยหยดน้ำเล็ก ๆ ในก้อนเมฆหรืออาจโดยผลึกน้ำแข็ง หรืออาจโดยหยดน้ำฝน ซึ่งผลที่ตามมาทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่มองเห็นในบรรยากาศ ซึ่งได้แก่ โคโรนา (corona) วงแหวน (halos) และสายรุ้ง (rainbows) เป็นต้น

1.5.1 การสะท้อน (Reflection)

เมื่อแสงเดินทางตกกระทบบนพื้นผิวที่เรียบ เช่น กระจก แสงก็จะสะท้อนกลับเท่ากับมุมที่มันตกกระทบบน (ดูรูป 1.9) แต่สำหรับบนพื้นผิวที่ขรุขระแสงจะตกกระทบบนด้วยมุมที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งจะทำให้แสงเกิดการแพร่ (diffused) (ดูรูป 1.10)



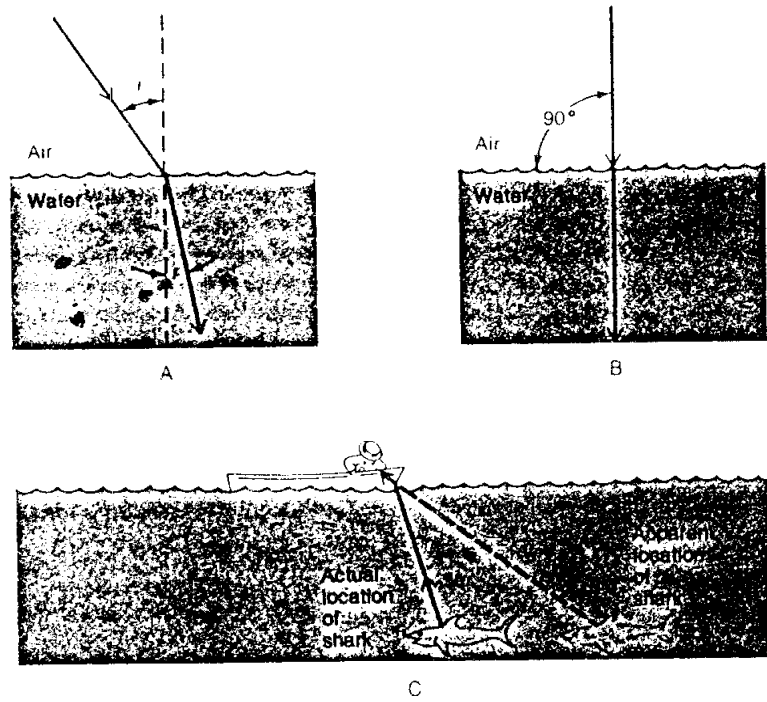
รูป 1.9 การสะท้อนของแสงบนพื้นเรียบ

รูป 1.10 การสะท้อนของแสงบนพื้นขรุขระหรือการแพร่

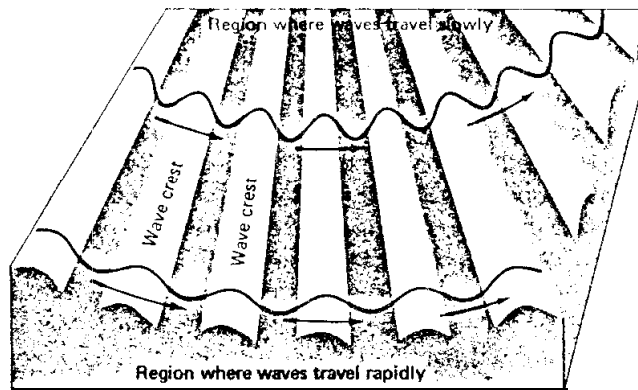
1.5.2 การหักเห (Refraction)

เมื่อลำแสงเดินทางผ่านจากตัวกลางโปร่งใสอันหนึ่ง (เช่น จากอากาศ) ไปยังตัวกลางโปร่งใสอีกตัวกลางหนึ่ง (เช่น น้ำหรือน้ำแข็ง) จะเกิดการหักเหขึ้น การหักเหเกิดขึ้นจากความเร็วแสงในอากาศมีมากกว่าความเร็วของแสงในน้ำหรือน้ำแข็ง การหักเหจะเกิดขึ้นเมื่อลำแสงตกกระทบบนผิวของระหว่างตัวกลางสองตัวกลางที่มุมใด ๆ ยกเว้นมุม 90 องศา (ดูรูป 1.11) (แสงที่ตกตั้งฉากกับน้ำจะไม่หักเห แต่ความเร็วของแสงอาจกระทบบนกระเบื้อง)

ข้อเปรียบเทียบในการอธิบายการหักเหของแสงก็คือ เมื่อเราขับรถไปบนถนนที่มัน้ำมันหกธาตอยู่ทางขวามือ ล้อทางขวาจะเคลื่อนอยู่บนถนนที่มัน้ำมันหกธาตอยู่ในขณะที่ล้อทางซ้ายยังอยู่บนผิวถนนที่ยังแห้ง ถ้าเราเหยียบเบรค ล้อข้างซ้ายของรถจะยังคงวิ่งช้า ในขณะที่ล้อข้างขวาจะลื่นไถลเร็วขึ้นบนน้ำมัน ผลที่ตามมา จะทำให้รถวิ่งเฉไปทางซ้ายมือ การเฉนี้เปรียบได้กับแสงที่หักเหในตัวกลางที่มันเดินทางด้วยความเร็วที่น้อยกว่านั่นเอง (ดูรูป 1.12)



รูป 1.11 การหักเหของแสง รูป A แสงหักเหเมื่อเดินทางจากอากาศลงไปในน้ำ รูป B แสงซึ่งตั้งฉากกับผิวน้ำจะไม่หักเห รูป C การหักเหทำให้เกิดภาพลวง



รูป 1.12 การหักเหเกิดขึ้นเมื่อส่วนหนึ่งของแสงเดินทางได้เร็วกว่าอีกส่วนหนึ่ง และคลื่นแสงจะโค้งไปทางด้านที่เคลื่อนที่ช้ากว่า

ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 21 กันยายน ซึ่งเป็นตำแหน่งเอควินอกซ์ (equinoxes) จะมีแสงอาทิตย์ 12 ชั่วโมงพอดี ซึ่งหมายถึงว่าในวันเหล่านี้ดวงอาทิตย์ควรจะขึ้นเมื่อเวลา 06.00 น. และตกเมื่อเวลา 18.00 น. แต่ถ้าเราเฝ้าดูดวงอาทิตย์ขึ้นและตกในวันที่กล่าวถึงจะ

พบว่า ดวงอาทิตย์จะขึ้นเมื่อเวลาประมาณ 05.56 น. และตกเมื่อ 18.04 น. เวลาที่แน่นอนที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกนี้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับละติจูด แต่เราสามารถคาดได้ว่า จะมีจำนวนแสงแดดเพิ่มมากขึ้น 8 นาทีในแต่ละวันของปี

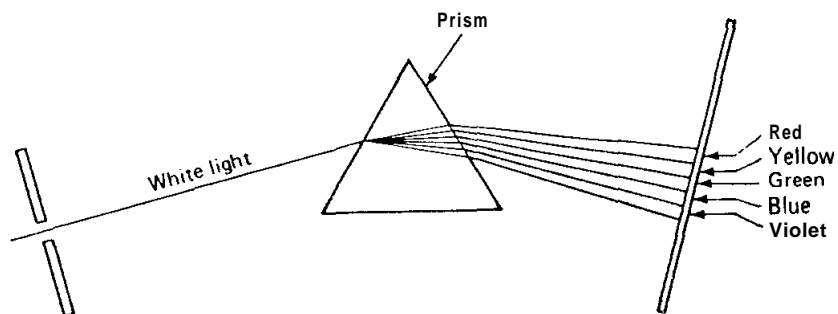
จำนวนแปรผันที่ของแสงแดดที่เพิ่มขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับการหักเหของแสงอาทิตย์ในบรรยากาศ แม้ว่าเราจะคิดว่าแสงอาทิตย์จะมาเป็นเส้นตรงสู่ตัวเรา แต่ในขณะที่ดวงอาทิตย์กำลังตก แสงอาทิตย์จะโค้งเล็กน้อยโดยการหักเหของบรรยากาศ เมื่อเรามองเห็นส่วนล่างของดวงอาทิตย์กำลังสัมผัสกับเส้นขอบฟ้านี้ ความจริงแล้ว ดวงอาทิตย์ได้จมลงต่ำกว่าเส้นขอบฟ้าไปแล้ว **ดูรูป 1.13**



รูป 1.13 เนื่องจากการหักเห เรายังคงเห็นดวงอาทิตย์แม้ว่าจริง ๆ แล้วดวงอาทิตย์จะลับขอบฟ้าไปแล้ว

1.5.3 การกระจาย (Dispersion)

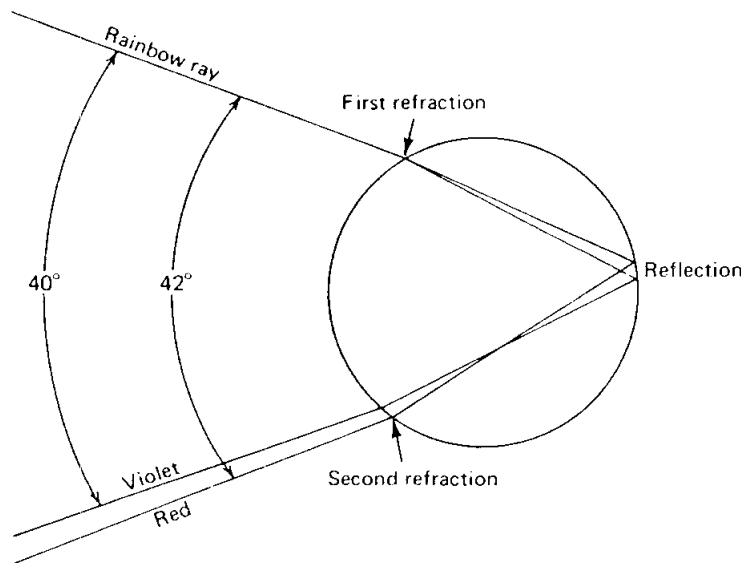
แสงเมื่อเดินทางผ่านปริซึมจะหักเหสองครั้ง ครั้งแรกเมื่อแสงผ่านอากาศเข้าไปในเนื้อแก้ว และจะหักเหอีกครั้งหนึ่งเมื่อมันออกจากปริซึมเข้าสู่อากาศ นิวตัน ได้ทดลองว่าเมื่อแสงหักเหสองครั้งเช่น โดยปริซึม แสงอาทิตย์จะแยกตัวออกเป็นสเปกตรัมของแสงหลายสี เราเรียกวิธีการนี้ว่าการกระจาย (**ดูรูป 1.14**)



รูป 1.14 สเปกตรัมของสีเมื่อแสงอาทิตย์เดินทางผ่านปริซึม คลื่นแสงแต่ละคลื่นจะหักเหต่างกัน

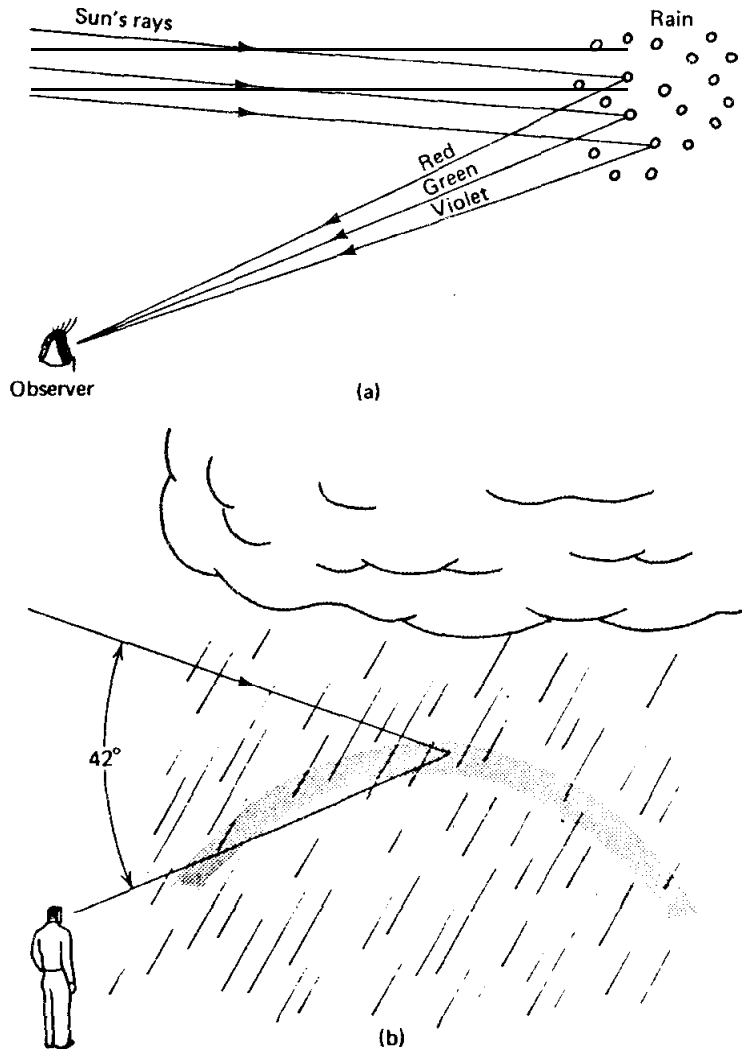
1.5.4 สายรุ้ง (Rainbows)

สายรุ้งเกิดจากการหักเหและสะท้อนของแสงอาทิตย์ โดยหยดน้ำฝน หยดน้ำฝนเหล่านี้จะทำตัวเหมือนปริซึมแยกแสงออกเป็นสีต่าง ๆ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบหยดน้ำฝนแสงจะหักเหโดยที่แสงสีม่วงจะหักเหมากที่สุด และแสงสีแดงจะหักเหน้อยที่สุด เมื่อแสงมาถึงด้านตรงกันข้ามของหยดน้ำฝน แสงจะสะท้อนและออกจากหยดน้ำฝนในด้านเดียวกับที่มันเข้ามาครั้งแรก หลังจากแสงออกจากหยดน้ำฝนแล้วมันจะหักเหอีกครั้งหนึ่ง ทำให้เกิดการแยกตัวของแสงชัดเจนมากขึ้น สายรุ้งจะปรากฏให้เห็นก็ต่อเมื่อผู้สังเกตเห็นหลังให้กับดวงอาทิตย์ (ดูรูป 1.15)

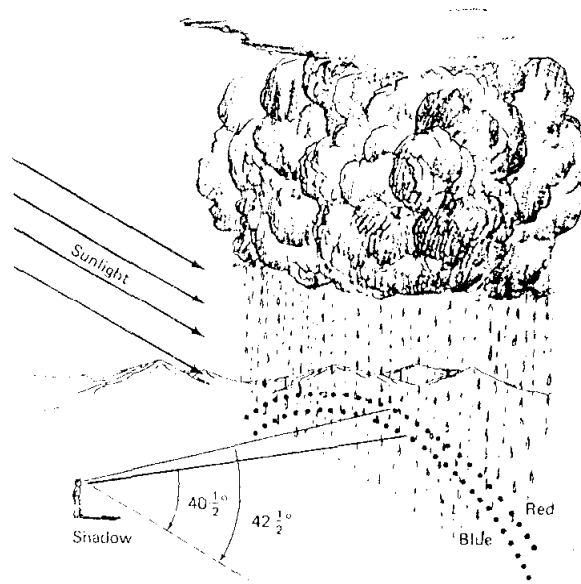


รูป 1.15 สีของแสงแยกออกจากกัน เพราะแสงอาทิตย์ถูกหักเหและสะท้อนโดยหยดน้ำฝนทำให้เกิดเป็นสายรุ้ง

มุมระหว่างแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับสีที่ทำให้เกิดสายรุ้ง สำหรับแสงสีแดงเท่ากับ 42 องศา และแสงสีม่วงเท่ากับ 40 องศา สำหรับแสงสีอื่น ๆ เช่น ส้ม เหลือง เขียว และน้ำเงิน จะอยู่ในระหว่างมุมนี้ แม้ว่าแต่ละหยดจะแยกแสงออกจากทุกสี แต่สำหรับผู้มองเห็นสายรุ้งแล้วจะเห็นสีเพียงสีเดียวจากหยดน้ำหนึ่งหยด ยกตัวอย่างเช่น แสงสีเขียวจากหยด ๆ หนึ่งจะมาถึงตาผู้สังเกต แต่แสงสีม่วงจากหยดเดียวกันนี้จะผ่านศีรษะข้างบนไป ในขณะที่แสงสีแดงจะตกลงบนพื้นดินเบื้องหน้าผู้สังเกต ด้วยเหตุนี้ผู้สังเกตจะเห็นสายรุ้งของตนเองในแต่ละคน (ดูรูป 1.16 และ 1.17)



รูป 1.16 การกระจายของสีอยู่ในลักษณะที่จะเห็นสีเพียงสีเดียวจากหยดน้ำหนึ่งหยด แต่เนื่องจากมีหยดน้ำนับล้านหยด จึงเห็นสีของสายรุ้งเป็นแถบโค้ง

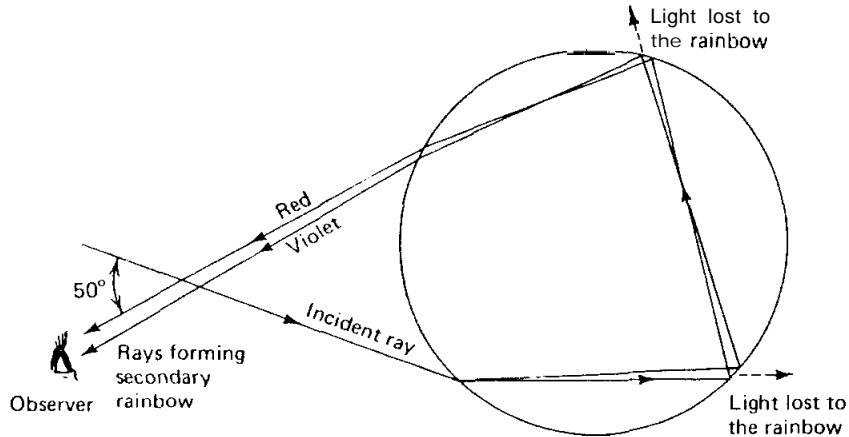


รูป 1.17 ลักษณะรูปอีกแบบหนึ่งที่ทำให้สามารถมองเห็น ได้ชัดเจนว่าสายรุ้งเกิดขึ้น ได้อย่างไร

สำหรับความโค้งของสายรุ้งนั้นเป็นผลเนื่องจากแสงจะต้องเดินทางมายังผู้เห็นในมุมระหว่าง 40 ถึง 42 องศาเสมอ ด้วยเหตุนี้เมื่อผู้สังเกตมองไปเบื้องบนที่มุม 42 องศาจากทางเดินของแสงอาทิตย์ เขาจะมองเห็นแสงสีแดง และเมื่อไม่ว่าผู้สังเกตจะมองไปทางทิศใดของมุม 42 องศา ก็จะมองเห็นแสงสีแดงนั้นได้ ดังนั้นเราจะเห็นเป็นครึ่งวงกลมของมุม 42 องศาอยู่บนท้องฟ้า สำหรับผู้ที่อยู่ในเครื่องบินสามารถมองลงมาเบื้องล่างด้วยมุม 42 องศาเช่นกัน ดังนั้นเขาสามารถที่จะเห็นสายรุ้งได้เต็มรูปวงกลม ในกรณีที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือของฟ้าสูงกว่า 42 องศา ผู้ที่สังเกตบนพื้นโลกจะมองไม่เห็นสายรุ้ง

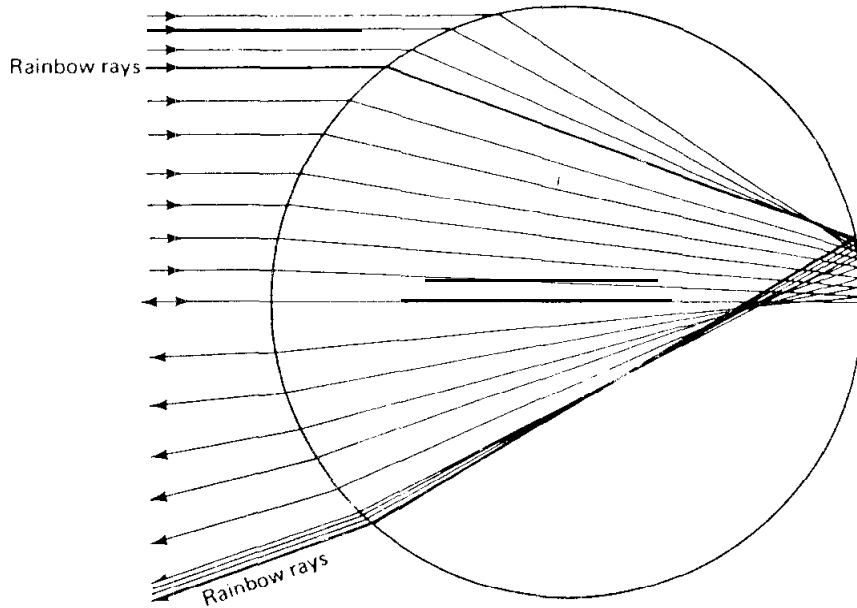
สำหรับสายรุ้งชนิดทุติยภูมิ (secondary rainbow) จะเกิดขึ้นเหมือนกับสายรุ้งชนิดปฐมภูมิ (primary rainbow) แต่มีความแตกต่างที่ว่าแสงที่ทำให้เกิดสายรุ้งทุติยภูมินั้นเกิดจากการสะท้อนสองครั้งภายในหยดน้ำ (ดูรูป 1.18) การสะท้อนที่เพิ่มจำนวนครั้งขึ้นทำให้เกิดมุมการแยกตัวของแสงสีแดงเปลี่ยนเป็น 50 องศา ซึ่งมากกว่าสายรุ้งชนิดปฐมภูมิ 8 องศา เหตุนี้เองทำให้สีของสายรุ้งกลับทิศกัน และอยู่เบื้องบนสายรุ้งชนิดปฐมภูมิเล็กน้อย

จำนวนการสะท้อนที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้สีของสายรุ้งชนิดทุติยภูมิมีกว่าชนิดแรก และทำให้ไม่ค่อยสังเกตเห็น ในแต่ละครั้งที่แสงตกกระทบพื้นผิวพื้นภายในของหยดน้ำ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับในขณะที่บางส่วนจะสามารถส่องทะลุผ่าน (transmitted) พื้นผิวที่ทำให้เกิดการสะท้อนออกไปจากหยดน้ำได้ แสงที่ทะลุออกไปได้นี้จะไม่ทำให้เกิดสายรุ้ง ดังนั้นในเมื่อมีแต่เฉพาะบางส่วนของแสงเท่านั้น ที่เกิดการสะท้อนครั้งที่สอง สายรุ้งชนิดทุติยภูมิจึงไม่สว่างเท่าชนิดปฐมภูมิ



รูป 1.18 รูปเรขาคณิตของแสงที่ทำให้เกิดสายรุ้งชนิดทุติยภูมิ โดยการเปรียบเทียบกับรูป 1.15 จะเห็นว่าสีของแสงจะกลับกัน

ยังมีคำถามอีกว่าลักษณะรูปทรงกลมของหยดน้ำฝนนั้นสามารถกระจายแสงในทิศทางอื่นได้เท่า ๆ กัน แต่ทำไปแสงที่ทำให้เกิดสายรุ้งจึงมีความเข้มข้นมากกว่าแสงที่กระจายในทิศทางอื่น คำถามนี้ตอบได้โดยการเขียนรูปอย่างพิถีพิถันถึงทางเดินของแสงที่สะท้อนจากหยดน้ำที่จุดต่าง ๆ ตามพื้นผิวของมัน เริ่มต้นจากแสงที่จะทะลุตรงจุดกึ่งกลางของหยดน้ำพอดีจะสะท้อนกลับจากพื้นผิวด้านหลัง และจะกลับไปยังเส้นทางเดิมคือ กลับไปหาดวงอาทิตย์ ในการพิจารณาแสงที่ทะลุหยดน้ำที่ระยะทางก่อนถึงจุดศูนย์กลางบ้าง ปรากฏให้เห็นว่าเมื่อระยะยิ่งสูงไปจากจุดกึ่งกลางแสงจะยิ่งสะท้อนเข้มข้นมากขึ้น (ดูรูป 1.19) จากรูปจะเห็นว่า จำนวนแสงทั้งหมดที่ตกกระทบหยดน้ำฝนแสงของสายรุ้งจะแผ่กระจายน้อยที่สุด ดังนั้นจึงมีความเข้มข้นมากที่สุดที่มุม 42 องศา นอกจากนี้ในรูปยังแสดงให้เห็นว่ารอบ ๆ จุดที่มีการแผ่กระจายสูงสุดจะเป็นโซนที่แคบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่ตกกระทบ ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการแผ่กระจายของแสง ดังนั้น แสงที่ตกกระทบภายใน โซนนี้ จะออกจากหยดน้ำเดินทางเกือบเป็นเส้นเดียวกัน แสงจึงสว่างมากที่สุดที่มุม 42 องศา



รูป 1.19 รูปโตอะแกรมแสดงทางเดินที่เป็นไปได้ของแสงที่จะส่องผ่านหยดน้ำฝน ใกล้กับบริเวณของแสงสายรุ้ง จำนวนแสงที่ตกกระทบจะกระจายออกมาในเกือบแนวเดียวกัน ดังนั้นแสงจึงมีความเข้มข้นมากที่สุด

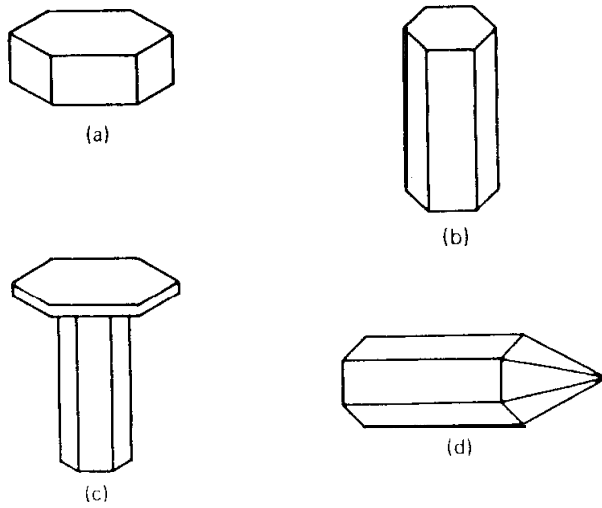
1.5.5 วงแหวน (Halos)

เฮโลส์ ก็คือวงแหวนสีขาวของแสงที่ล้อมรอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ วงแหวนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบกับผลึกน้ำแข็ง และทะลุออกมาสู่พื้นดิน ปรากฏการณ์นี้มักเกิดจากแสงที่ส่องผ่านเมฆเซอร์โรสเตรตัส (Cirrostratus) ซึ่งเป็นแผ่นบางครอบคลุมท้องฟ้าที่อยู่สูงจากพื้นดินเกือบ 10 กิโลเมตร ที่ระดับความสูงนี้ เมฆจะมีอนุภาคน้ำแข็งพอที่จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขึ้น

รูปผลึกพื้นฐานของผลึกน้ำแข็งที่ทำให้เกิดวงแหวนนี้มีอยู่ 4 ชนิด คือ plates columns bullets และ capped column (ดูรูป 1.20) ส่วนผลึกน้ำแข็งที่อาจเกิดขึ้นได้นั้นมีอยู่ทั้งหมด 10 ชนิด (ดูรูป 1.21) และชนิดของผลึกเกิดขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำ

รูปร่างกลมของวงแหวนเกิดจากผลึกน้ำแข็ง และผลึกน้ำแข็งทั้งหมดจะมีพื้นฐานเป็นหกด้าน (hexagonal) สำหรับเกล็ดหิมะที่เราเห็นก็เป็นหกด้านเช่นเดียวกัน

วงแหวนเกิดขึ้นเมื่อผลึกน้ำแข็งที่มีอยู่ในเมฆเซอร์โรสเตรตัส หรือเซอร์รัสถูกแสงอาทิตย์ส่องผ่าน แสงอาทิตย์จะเข้าทางด้านหนึ่งของผลึกและจะถูกหักเหในเนื้อน้ำแข็ง แสงนี้จะออก



รูป 1.20 ผลึกน้ำแข็งทั่วไปที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ทางสายตาในบรรยากาศ (a) Plate (b) Column (c) Capped column (d) Bullet

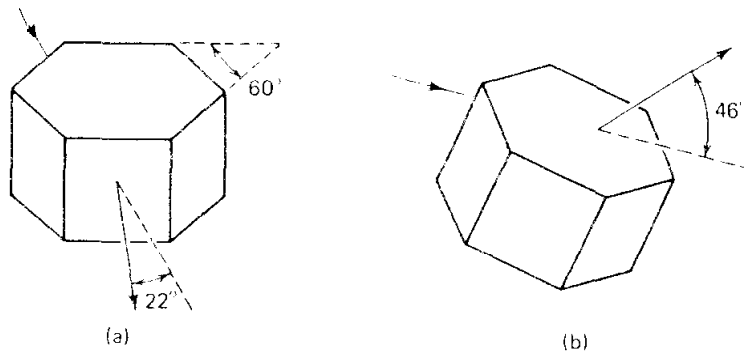
Common shapes of ice crystals.

| TYPES OF FROZEN PRECIPITATION | | | | |
|-------------------------------|----------------|---------------|--|--------------------|
| CODE | GRAPHIC SYMBOL | TYPICAL FORMS | | TYPE |
| 1 | | | | PLATES |
| 2 | | | | STELLARS |
| 3 | | | | COLUMNS |
| 4 | | | | NEEDLES |
| 5 | | | | SPATIAL DENDRITES |
| 6 | | | | CAPPED COLUMNS |
| 7 | | | | IRREGULAR CRYSTALS |
| 8 | | | | GRAUPEL |
| 9 | | | | SLEET |
| 0 | | | | HAIL |

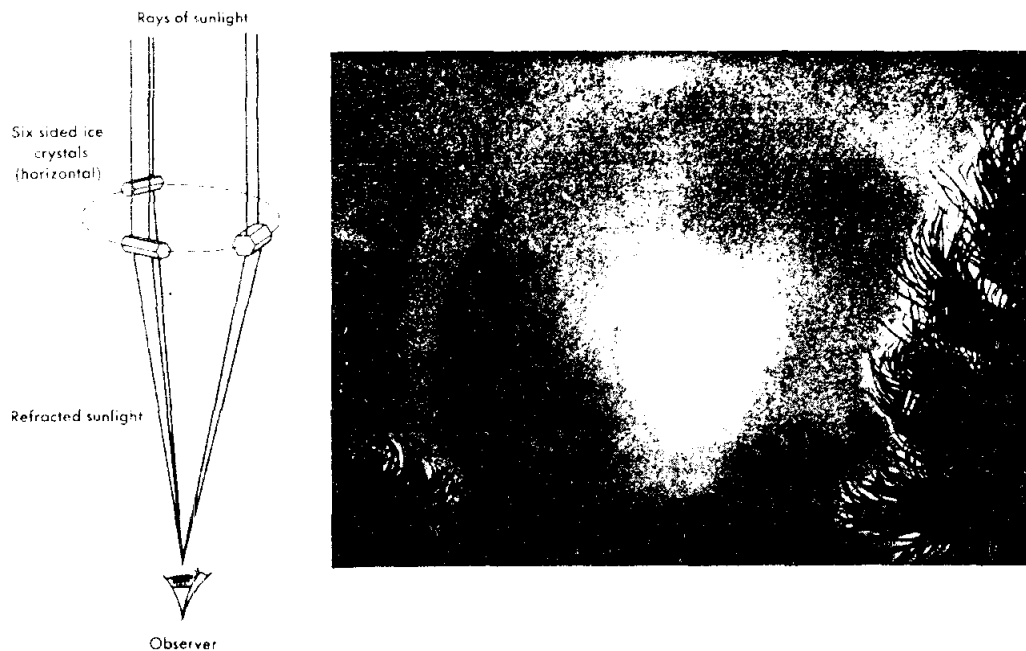
PROPOSED CLASSIFICATION OF SOLID PRECIPITATION
INTERNATIONAL COMMISSION ON SNOW AND ICE / I.C.S.I. COMMITTEE ON SNOW CLASSIFICATION

รูป 1.21 รูปทั่วไปของผลึกน้ำแข็ง

จากผลึกอีกทางด้านหนึ่งและหักเหซ้ำอีก ซึ่งจะเบี่ยงเบนออกจากทิศทางเดิมประมาณ 22 องศา (ดูรูป 1.22 a) จากการพิจารณาโครงสร้างทางเรขาคณิตพบว่าไม่ใช่เพียงแต่มุม 22 องศาที่เป็นมุมเล็กที่สุดที่แสงสามารถหักออก แต่ภายใต้สภาพปกติจะมีแสงส่วนมากหักเหที่มุม 22 องศา นี้มากกว่ามุมอื่น ๆ ด้วยซึ่งก็มีลักษณะคล้ายกับการเกิดสายรุ้งนั่นเอง ดังนั้น เราได้วงแหวน 22 องศาล้อมรอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ (ดูรูป 1.23)



รูป 1.22 แสดงถึงทางเดินของแสงที่ทำให้เกิด (a) วงแหวน 22 องศา (b) วงแหวน 46 องศา



รูป 1.23 วงแหวน 22 องศา

ในบางครั้งวงแหวนอาจจะเป็น 46 องศา ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า แต่ปรากฏขึ้นน้อยกว่า ความแตกต่างระหว่างวงแหวน 22 องศา และวงแหวน 46 องศา ก็คือทางเดินที่แสงต้องเดินทางผ่านทะเลสาบ น้ำแข็ง ในวงแหวน 22 องศา แสงอาทิตย์จะตกกระทบด้านใดด้านหนึ่งในหกด้านของผลึกน้ำแข็งและจะออกในด้านที่สลับถัดไป (ถ้าด้านที่แสงเข้าเป็นด้านที่หนึ่งด้านที่ออกจะเป็นด้านที่ 3 ดูรูป 1.22 a) ส่วนวงแหวน 46 องศาเกิดขึ้นเมื่อแสงผ่านทะเลสาบด้านใดด้านหนึ่งของหกด้านนี้ แต่แสงจะมาทะลุออกที่ฐานหรือส่วนบนของผลึก (ดูรูป 1.22 b)

แม้ว่าผลึกน้ำแข็งจะกระจายแสง (disperse) ในลักษณะเดียวกับหยดน้ำฝน แต่ฮาโลส์มักจะเป็นวงแหวนสีขาว ทั้งนี้เกิดจากรูปร่างของผลึกน้ำแข็งที่ไม่สมบูรณ์เท่ากับหยดน้ำฝนซึ่งเป็นทรงกลม สีต่าง ๆ ที่เกิดจากการกระจายนี้อาจจะซ้อนกันและลบเลือนสีก็สีหนึ่งออกไป แต่ในบางครั้งวงแหวนนี้อาจมีสีที่เห็นได้ โดยที่แถบสีแดงอยู่ภายในวงแหวน เนื่องจากสีแดงหักเหน้อยกว่าสีอื่นในแสงทั้งหมดจึงอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด สำหรับแสงสีอื่นซึ่งหักเหมากกว่าสีแดงจะหักล้างกันทำให้ภายนอกเป็นสีขาว

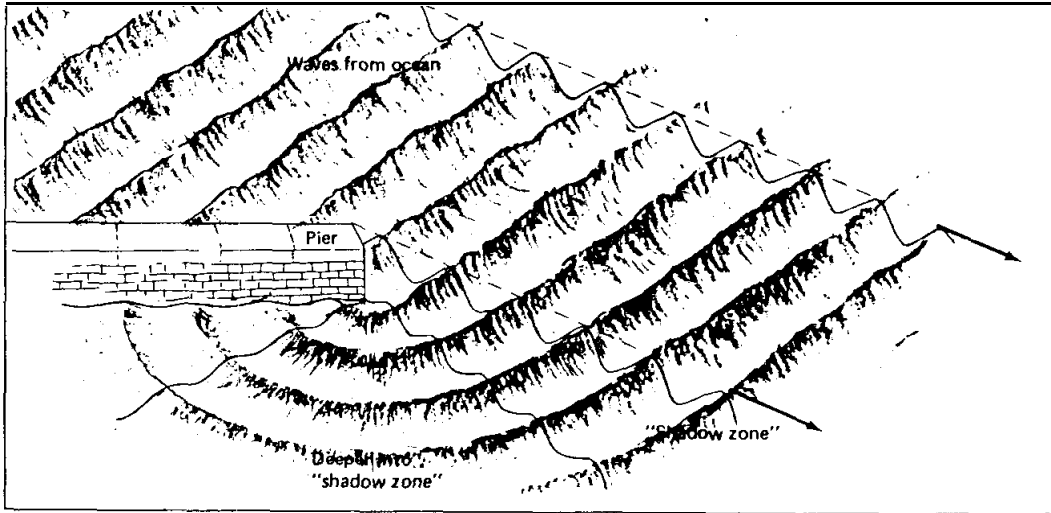
1.5.6 โคโรนา (Corona)

โคโรนาจะปรากฏให้เห็นเป็นแผ่นกลม (disk) สีขาวล้อมรอบดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ และมักเกิดขึ้นเมื่อมีเมฆอัลโตสเตรตัสหรืออัลโตคิวมูลัสกึ่งโปร่งใส (semitransparent) อยู่ในท้องฟ้า มุมของแสงที่ทำให้เกิดโคโรนามีขนาดเล็กกว่าวงแหวน 22 องศา ดังนั้นจึงมีขนาดเล็กกว่าเช่นกัน และเมื่อโคโรนาปรากฏให้เห็นก็จะมีแถบสีน้ำเงินอยู่ภายใน และมีแถบสีแดงอยู่ภายนอก ซึ่งจะตรงกันข้ามกับวงแหวนชนิด 22 องศา

สำหรับวงแหวนนั้นเกิดขึ้นโดยผลึกน้ำแข็ง แต่สำหรับโคโรนานั้นเกิดขึ้นโดยหยดน้ำเล็ก ๆ ในก้อนเมฆ โคโรนาไม่ได้เกิดจากการหักเหอย่างในสายรุ้งและวงแหวน แต่เกิดจากกระบวนการที่เรียกว่าการเลี้ยวเบน (diffraction) ซึ่งลำแสงของแสงจะแผ่กระจายเข้าไปในพื้นที่ที่เบื้องหลังสิ่งกีดขวาง คลื่นแสงที่เดินทางจากดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์มายังผู้สังเกตจะโค้งเล็กน้อยรอบ ๆ หยดน้ำ (ดูรูป 1.24)

คลื่นแสงที่เลี้ยวเบนโดยหยดน้ำจะแทรกสอด (interfere) ซึ่งกันและกันเป็นผลทำให้เกิดความเข้มของแสงในแผ่นกลม รอบ ๆ ดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ เมื่อเราเห็นโคโรนาก็สามารถบอกได้ว่าเมฆที่บังดวงอาทิตย์นั้นประกอบด้วยหยดน้ำเล็ก ๆ หยดน้ำเหล่านี้ถ้ายังเล็กรัศมีของโคโรนาก็ยิ่งกว้างขึ้น ความสัมพันธ์สามารถใช้คาดคะเนรัศมีของหยดน้ำได้

เรามาดูว่าแสงมีวิธีการแทรกสอดได้อย่างไร ถ้าส่วนยอด (top) ของคลื่นอันหนึ่งพบกับส่วนล่าง (bottom) ของคลื่นอีกคลื่นหนึ่งด้วยความสูงของคลื่นที่เท่ากัน (equal amplitude) คลื่นแสงทั้งสองจะเกิดการแทรกสอดซึ่งกันและกัน หรือเราพูดว่าคลื่นจะมีการแทรกสอดกัน ^{หักล้าง} ดังนั้น เมื่อครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสงไม่ได้อยู่ใน ^{หักล้าง} เฟสเดียวกัน ลักษณะเช่นนี้ไม่ทำให้

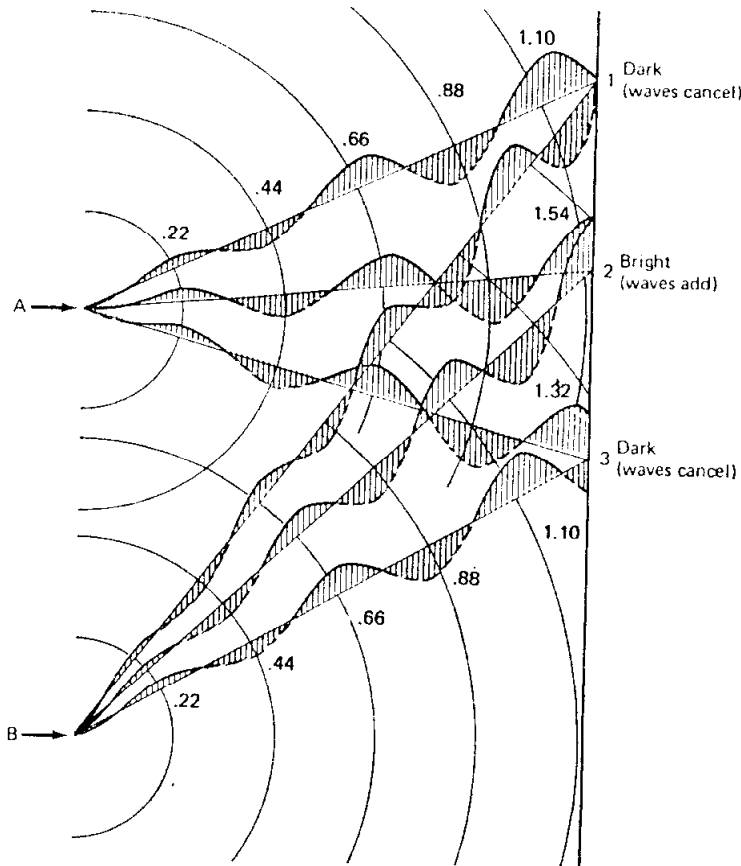


รูป 1.24 คลื่นจากมหาสมุทรจะโค้งรอบ ๆ และเข้าไปในน้ำที่สงบกว่าหลังสะพานท่าเรือ และขนาดของคลื่นจะเล็กลงมากด้วยลูกศรแสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแสงก็จะมีคุณสมบัติเช่นนี้เช่นเดียวกัน

เกิดความสว่าง แต่ถ้ายอดคลื่นหนึ่งกับอีกยอดคลื่นหนึ่งอยู่ในเฟสเดียวกัน (ยอดคลื่นซ้อนกับอีกยอดคลื่นพอดี) แสงก็จะสว่าง

สมมติว่ามีแสงสว่างทะลุผ่านรูแคบสองรูในกล่อง แสงจากรู A ก็จะไปถึงผนังด้านหลังของกล่อง และถ้าเรายอมให้แสงจากรู B ผ่านเข้ามาที่จุด ๆ หนึ่ง ในกล่องจะเกิดการหักล้างหรือแทรกสอดกันขึ้นกับแสงที่มาจากรูแรก (รู A) ในขณะที่จุดอื่นบางจุดแสงจะบวกเข้าด้วยกัน จุดที่มีการหักล้างกันเป็นจุดที่เกิดจากครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสง (one-half of the wavelength) ไม่อยู่ในเฟสเดียวกัน (ยอดคลื่นทั้งสองจะอยู่ล่างคลื่นหนึ่งและอยู่บนอีกคลื่นหนึ่ง) ที่จุดเหล่านี้จะเป็นจุดที่มืด (ดูรูป 1.25)

ในการพิจารณาแสงที่มีความยาวคลื่น 0.44 ไมครอน ซึ่งเป็นแสงสีน้ำเงิน ที่จุด 3 ในรูป 1.25 ทางเดินของแสงจากรู A จะน้อยกว่าทางเดินของแสงในรู B มีค่าเท่ากับ 0.22 ไมครอน ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ดังนั้นคลื่นจะหักล้างกันและจะมืด แต่สำหรับที่จุด 2 นั้น ทางเดินของแสงจากรู B จะยาวกว่าทางเดินของแสงจากรู A มีค่าเท่ากับ 0.44 ไมครอนพอดี ดังนั้นคลื่นจะอยู่ในเฟสเดียวกัน (ยอดคลื่นอยู่ในแนวเดียวกับยอดคลื่นหนึ่ง) ดังนั้นที่จุด 2 จะสว่าง สำหรับที่จุด 1 ทางเดินของแสงทั้งสองต่างกัน 0.66 ไมครอน ดังนั้นยอดของคลื่นจะไม่อยู่ในเฟสเดียวกันและแสงจะมืด



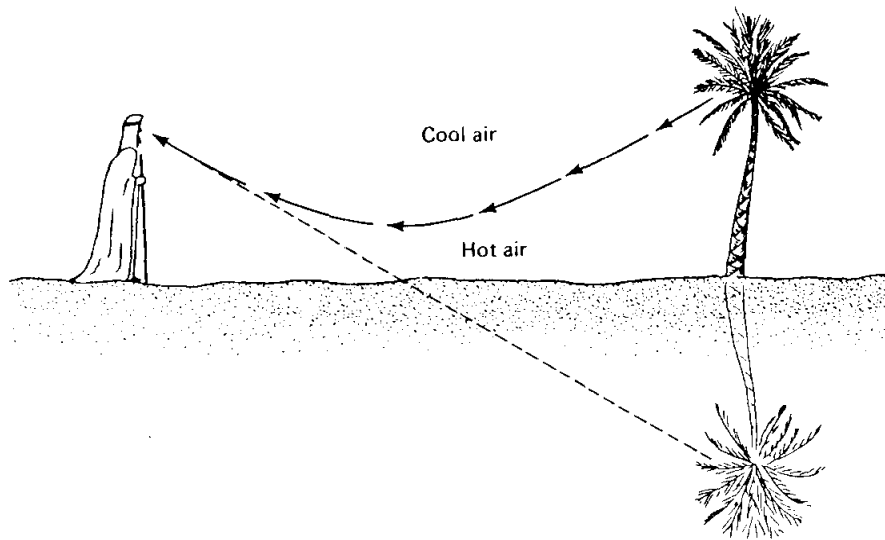
รูป 1.25 การแทรกสอดของแสง ที่จุด 1 ยอดของคลื่นจาก A จะถูกลบล้างโดยร่อง (trough) ของคลื่นจาก B ดังนั้นที่จุด 1 จะมืด ทานองเดียวกันก็จะมีที่จุด 3 ด้วย ที่จุด 2 จะสว่างเพราะยอดของคลื่นจะเสริมกัน

การเปลี่ยนแปลงแถบที่สว่างสลับกับแถบที่มืดนี้เรียกว่า การเลี้ยวเบนหรือการแทรกสอดนั่นเอง ซึ่งค้นพบโดย Grimaldi และอธิบายโดย Thomas Young ในเวลา 150 ปีต่อมา การแทรกสอดไม่เพียงแต่ทำให้เกิดการมืดและสว่าง แต่ทำให้เกิดแสงสีสวยงามด้วย จากรูปที่ 1.26 ที่จุด 3 แสงสีน้ำเงินจากทางเดินทั้งสองไม่ได้อยู่ในเฟสเดียวกัน แต่แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 0.66 ไมครอนอาจจะอยู่ในเฟสเดียวกัน ดังนั้น ที่จุด 3 จะเป็นสีแดง และในบางจุดสีแดงอาจจะอยู่คนละเฟส และหักล้างกันในขณะที่แสงสีน้ำเงินจะเสริมกัน และมีสีเป็นน้ำเงินเป็นต้น

นี่คือผลที่ทำให้เกิดโคโรนา หยดน้ำเล็ก ๆ ในเมฆอัลโตสเตรตัสจะปฏิบัติตนคล้ายกับรูที่มีอยู่ในกล่อง และทำให้เกิดลำดับวงแหวนต่าง ๆ ของสีรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์

1.5.7 มิราจ (Mirage)

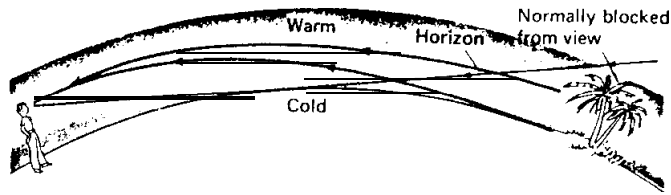
ปรากฏการณ์นี้มักเกิดขึ้นบ่อยในทะเลทราย แต่บางครั้งก็เกิดในที่อื่น ๆ ได้ มิราจมีอยู่หลายชนิด มีอยู่ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ร้อนจัดเมื่ออากาศใกล้พื้นดินมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศข้างบนแสงจะค่อย ๆ โค้งขึ้นในทิศที่อยู่ตรงข้ามกับความโค้งของโลก จากรูป 1.26 จะเห็นว่าทิศทางของการเปลี่ยนแปลงความโค้งจะทำให้แสงที่สะท้อนจากวัตถุในที่ไกลมาถึงตาผู้สังเกต จากส่วนล่างของระดับสายตา เนื่องจากสมองของคนรับรู้เฉพาะแสงที่มาตามเส้นทางที่เป็นเส้นตรง ดังนั้นภาพที่เห็นจะอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งดั้งเดิมและเป็นรูปกลับหัว อย่างที่เราเห็นเตาปาล์มในรูป 1.26 มิราจในทะเลทรายแบบนี้เรียกว่า inferior mirages



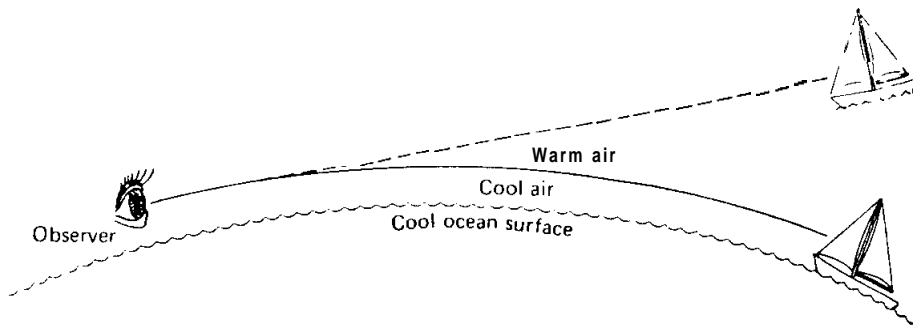
รูป 1.26 แสงจะเดินทางได้เร็วขึ้นในอากาศที่ร้อน ใกล้กับพื้นดิน ดังนั้นเมื่อแสงที่เดินทางลงล่าง เข้ามาใน ชั้นที่ร้อนนี้ก็จะ โค้งขึ้นทำให้มาถึงตาผู้สังเกตต่ำกว่าระดับสายตา

ลักษณะมิราจที่เกิดขึ้น ในทะเลทรายอาจเกิดขึ้นเมื่อเราเดินทาง ไปบนถนนที่กำลังร้อนจัด โดยที่เราจะเห็นคล้าย ๆ มีถนนที่เปียกอยู่ข้างหน้า แต่เมื่อเข้าไปใกล้ลักษณะนี้ก็จะหายไป บริเวณที่เปียกเบื้องหน้าเกิดจากการ โค้งของแสงที่มาจากท้องฟ้าในระยะทางอันหนึ่งนั่นเอง

มิราจอีกชนิดหนึ่งเกิดขึ้นเมื่ออากาศใกล้พื้นดินเย็นมากกว่าอากาศข้างบนค่อนข้างมาก ดังนั้นในการมองเห็นลักษณะนี้มักเกิดขึ้นบนพื้นมหาสมุทรที่เย็นแฉวยบริเวณขั้วโลก การที่อากาศเบื้องล่างเย็นกว่าอากาศเบื้องบน ทำให้แสงโค้งตามทิศทางความโค้งของผิวโลก (ดูรูป 1.27) ผลอันนี้ทำให้เราสามารถมองเห็นต้นไม้ที่อยู่ไกล ๆ ได้ ซึ่งโดยปกติแล้วความโค้งของผิวโลกจะยังไม่ให้เห็น ปรากฏการณ์เดียวกันนี้ถ้าการหักเหมีมาก วัตถุหรือเรือจะเห็นลอยอยู่ในอากาศ มิราจชนิดนี้เรียกว่า superior mirage (ดูรูป 1.28)

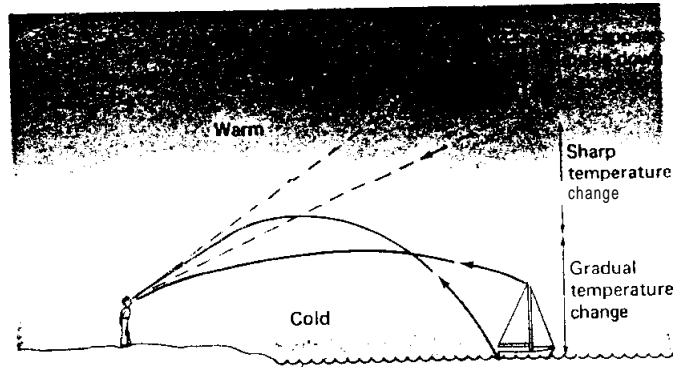


รูป 1.27 เมื่ออากาศเหนือพื้นดินเย็นมากเมื่อเทียบกับอากาศที่อยู่เหนือสองสามเมตรขึ้นไป เราสามารถเห็นวัตถุที่อยู่ต่ำกว่าระดับขอบฟ้าได้



รูป 1.28 คล้ายกับรูป 1.27 แต่รูปนี้จะมีการหักเหที่มากกว่าทำให้เห็นวัตถุลอยอยู่เหนือตำแหน่งจริง

ในบางครั้งมีปรากฏการณ์ให้แสงโค้งขึ้นสู่เบื้องบนตรงกันข้ามกับมิราจที่เกิดในทะเลทราย ดังนั้นภาพที่เห็นจะกลับทิศกัน ดังรูป 1.29 ซึ่งมีชื่อเรียกว่า fata morgana ตามนักมายากลน้องสาวของพระเจ้า King Arthur ซึ่งกล่าวว่าสามารถสร้างประสาทในอากาศเบื้องบนได้



รูป 1.29 ลักษณะของอุณหภูมิที่ทำให้วัตถุที่เห็นกลับข้างกัน