

บทที่ 2

บรรยากาศ

(The Atmosphere)

คำว่า atmosphere มาจากภาษากรีก ซึ่งแปลว่า หายใจ (breath)

ธรรมชาติของบรรยากาศ (Nature of the atmosphere)

คุณสมบัติที่เป็นหลักของก๊าซก็คือเคลื่อนไหลได้ง่าย อัด (compressibility) และขยายได้ (ตามทฤษฎีของโมเลกุล ก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลเล็ก ๆ ซึ่งเคลื่อนไหลได้ทุกทิศทุกทางอยู่ตลอดเวลาและชนกันบ่อย ๆ จากลักษณะนี้ทำให้อากาศเกิดการอัดตัวและขยายได้) บรรยากาศอาจจะเรียกว่าเป็นมหาสมุทรของอากาศก็ได้ และลม เปรียบ เหมือนกับสายน้ำแต่อากาศสามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทุกทางและสามารถเคลื่อนที่ได้มากกว่า อากาศไม่มีทั้งรูปและขนาด เราไม่สามารถมีภาชนะที่มีอากาศเพียงครึ่งเดียวอากาศจำนวนเล็กน้อยจะเต็มไปหมดทั้งภาชนะที่บรรจุอยู่ และมีอยู่อย่างสม่ำเสมอทุกหนทุกแห่งในภาชนะนั้น อากาศเป็นสสารที่ไม่มีสี กลิ่น และรส แม้ว่าอากาศจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าดินและน้ำแต่ก็มีน้ำหนักและทำให้เกิดความกดดัน และเนื่องจากสามารถอัดตัวได้ ดังนั้นความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็วพร้อมกับความสูงมวลของบรรยากาศทั้งหมดเมื่อคำนวณแล้วจะมีค่าประมาณ 5.6×10^{14} ตัน ครึ่งหนึ่งของมวลนี้จะอยู่ต่ำกว่าระยะความสูง 18,000 ฟุต หรือ 6 กิโลเมตรและมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ อยู่ภายในระยะทาง 20 ไมล์ หรือ 32 กิโลเมตรจากพื้นโลก

ปราศจากบรรยากาศแล้วชีวิตไม่สามารถคงอยู่ได้ จะไม่มีลม ฝน หรือกาลอากาศ และจะไม่มีอากาศช่วยป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวันอุณหภูมิจะขึ้นไปถึง 200°F (ฟาเรนไฮต์) และถ้าอากาศไม่กักความร้อนไว้ในเวลากลางคืนอุณหภูมิจะลดลงถึง -300°F

แหล่งกำเนิดของบรรยากาศ (origin fo the atmosphere)

โลกมีประวัติประมาณ พันล้านปี เริ่มแรกโลกไม่มีทั้งอากาศและน้ำ ทั้งนี้เพราะโลกในระยะแรกนั้นเกิดจากการรวมตัวของ cosmic gas ซึ่งเป็นวัตถุที่มีขนาดเล็กและยังเย็นอยู่ ต่อมาภายในโลกถูกทำให้ร้อนโดยการหดตัว การสลายตัวของธาตุกัมมันตภาพรังสี และปฏิกิริยาทางเคมี สารที่ระเหยจะถูกขับออกมาเป็นอากาศและน้ำ ก๊าซที่เบาที่สุดจะอยู่ส่วนนอกสุด เช่น ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซฮีเลียม ส่วนประกอบของบรรยากาศในปัจจุบันไม่ใช่บรรยากาศที่ตกค้างจากในสมัยเริ่มแรก แต่เป็นบรรยากาศอันใหม่ (secondary atmosphere) ซึ่งวิวัฒนาการจากการระเบิดของภูเขาไฟ การสลายตัวทางเคมีของสารและโดยการหายใจของพืช สำหรับก๊าซ

ออกซิเจนถูกเพิ่มเติมเข้าไปในบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับปะการังฟอกขาวที่แสดงถึงความคงตัวของบรรยากาศในปัจจุบันดูได้จาก Cambrian period ซึ่งเป็นเวลาประมาณ 500 ล้านปีก่อน

จะเห็นว่า ปฏิกิริยาระหว่าง ดิน น้ำ อากาศ และพืช และชีวิตสัตว์ จะนำอากาศไปใช้และนำกลับขึ้นมาใหม่ให้เหมือนเดิม เช่นการสีกกร่อนของหิน การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเน่าเปื่อยของพืชและการหายใจของสัตว์จะนำเอาออกซิเจนไปใช้และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา การสังเคราะห์ของพืชจะนำออกซิเจนกลับสู่อากาศ สำหรับไนโตรเจนอิสระในอากาศก็จะถูกนำไปใช้และปล่อยกลับสู่อากาศโดยกระบวนการวัฏจักรของไนโตรเจน เป็นต้น

ส่วนประกอบของบรรยากาศ

จากการวิเคราะห์ของนักวิทยาศาสตร์พบว่า 99.99 เปอร์เซ็นต์ของอากาศแห้งโดยปริมาตรจะประกอบด้วยก๊าซชนิด ไนโตรเจน 78.08 % ออกซิเจน 20.95 % อาร์กอน (A) 0.93 % และคาร์บอนไดออกไซด์ 0.03 % ส่วนที่เหลือ 0.01 % นั้นประกอบด้วยก๊าซฟิออน (Ne) ฮีเลียม (He) มีเทน (CH₄) คริปทอน (Kr) ไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ไฮโดรเจน (H₂) โอโซน (O₃) และสารอื่น ๆ เป็นจำนวนเล็กน้อย ส่วนประกอบของอากาศแห้งบนพื้นผิวโลกนั้นเกือบจะมีอัตราส่วนคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากการกักตุนของลมทำให้มีการผสมกันอยู่เรื่อย ๆ ในชั้นล่างของบรรยากาศ จะมีการเคลื่อนไหวในแนวตั้งซึ่งทำให้ก๊าซผสมกันได้อย่างดีในเวลาเดียวกันในชั้นบรรยากาศเบื้องนอก ก๊าซต่าง ๆ จะปรับตัวตามความหนาแน่นของก๊าซนั้น ๆ

ยังมีส่วนประกอบของอากาศอื่น ๆ อีกที่อยู่ใกล้พื้นโลก ซึ่งมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่สารเหล่านี้มีความสำคัญมากน้อยในบริเวณหนึ่ง ๆ ส่วนประกอบเหล่านี้ได้แก่ ฝุ่น แบคทีเรีย อนุของธาตุคาร์บอนและไอน้ำ เป็นต้น

ความสำคัญของก๊าซต่าง ๆ

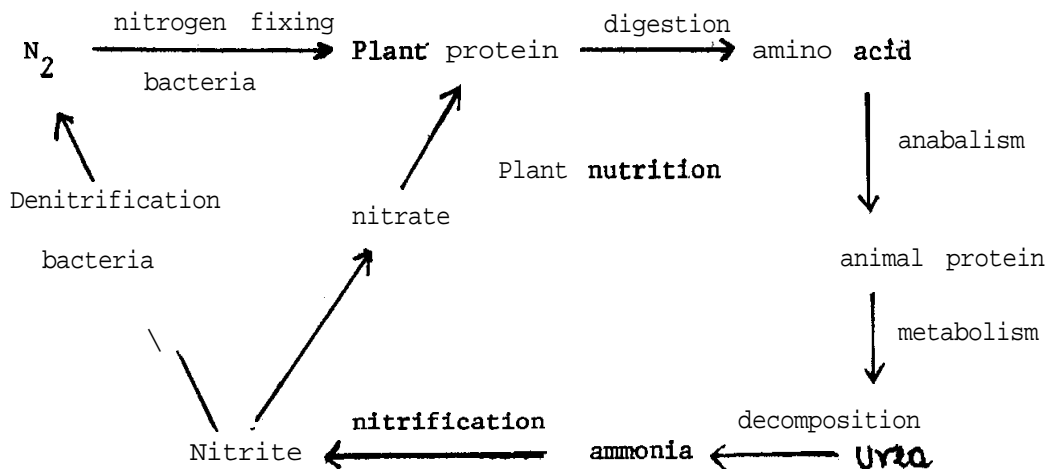
ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุดในอากาศ มนุษย์ สัตว์และพืชส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไนโตรเจนในรูปที่เป็นก๊าซมาใช้ อย่างไรก็ตามแบคทีเรียบางอย่างในดินและรากของพืชบางชนิด ตลอดจนสิ่งมีชีวิตในทะเลบางชนิดสามารถเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นไนเตรต ซึ่งมีความสำคัญในการสร้างโปรตีนของพืช

เมื่อไนโตรเจนรวมตัวกับธาตุอื่นกลายเป็นสารประกอบทางเคมี เช่น เป็นไนเตรต ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้ เราเรียกว่า "fixed" ส่วนหนึ่งของไนโตรเจนถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบโดยสายฟ้าแลบและรังสีคอสมิก ซึ่งเป็นการให้พลังงานในการทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่าง N_2 และ O_2 หรือ N_2 กับ HO

เมื่อพืชหรือสัตว์ตายลงสารประกอบไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนกลับสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซโดยแบคทีเรียชนิดหนึ่ง กระบวนการเช่นนี้เรียกว่า denitrifying process

สำหรับวัฏจักรของไนโตรเจนเราเขียนได้ดังนี้



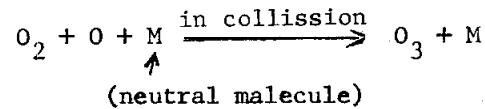
ออกซิเจน

ก๊าซที่มีความสำคัญในการคงอยู่ของมนุษย์ก็คือออกซิเจน เราหายใจเอาออกซิเจนเข้าไปในปอดโดยตรง ก๊าซที่มีความรวดเร็วอย่างยิ่งในการรวมตัวกับธาตุอื่น ๆ หลายชนิด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกแบบ กระบวนการของร่างกายใช้ออกซิเจนในการสันดาปกับอาหารแล้วปล่อยพลังงานและ CO_2 ออกมา

คาร์บอนไดออกไซด์

แม้ว่าก๊าซนี้จะมีอยู่เล็กน้อยในอากาศแต่ก็มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอย่างยิ่ง ถ้าปราศจากก๊าซนี้แล้วพืชไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เพราะขาดธาตุคาร์บอนและพืชเองก็มีความจำเป็นในการคงอยู่ของมนุษย์เช่นกัน สารสีเขียวที่มีอยู่ในใบไม้ซึ่งเรียกว่าคลอโรฟิลล์ นำจากดินและ CO_2 จากอากาศจะรวมตัวเป็น

เนื่องจาก O_2 atom มีความรวดเร็วในการรวมตัวก็จะไปรวมตัวกับ O_2 โมเลกุลอื่น กลายเป็น O_3 ขึ้น



(M ซึ่งเป็นโมเลกุลที่เป็นกลางมีอยู่ในสมการเพื่อให้เป็นไปตามกฎ conservation of momentum และกระบวนการเกิดโอโซนเรียกว่า photochemical process)

ฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต อนุเล็ก ๆ เหล่านี้ช่วยให้ไอน้ำในอากาศก่อรูปขึ้นเป็นหมอก เมฆและทำให้ฝนตก ในอากาศของเรานั้นมีฝุ่นอยู่สองชนิด อินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร ฝุ่นละอองที่เป็นอินทรีย์ได้แก่แบคทีเรีย ละอองเกสรดอกไม้และสปอร์ของพืช ที่กล่าวมาแล้วนั้นเราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ชนิดหลังที่เป็นอนินทรีย์สารซึ่งได้แก่ ฝุ่นละอองที่เกิดจากภูเขาไฟ และหินที่เปลี่ยนเป็นฝุ่นอันเนื่องจากการผุพัง (weathered rock material) นอกจากนี้ก็ยังมีสารบางอย่างที่ช่วยในการควบคุม เช่น เกลือแกง กรดกำมะถันและแอมโมเนีย เป็นต้น เป็นที่เชื่อว่าอนุเล็ก ๆ เหล่านี้เกิดจากมหาสมุทรและโรงงานอุตสาหกรรม

ไอน้ำ

จำนวนไอน้ำในอากาศมีไม่มากนัก แม้ในแถบที่มีอากาศชั้นสูงของป่าในเขตร้อนก็จะมีไม่เกิน 4 % ในส่วนสูงที่มีการหมุนวนของชั้นบรรยากาศก็จะมีประมาณ 0.05 % หรืออาจจะน้อยกว่านี้ อากาศที่นับว่าแห้ง ร้อยเปอร์เซ็นต์นั้นไม่มี ไอน้ำส่วนใหญ่อยู่นั้นอยู่ในส่วนล่างของบรรยากาศและมากกว่า 90 % อยู่ต่ำกว่าความสูง 6 กิโลเมตร หน้าที่สำคัญของไอน้ำคือทำให้ชีวิตคงอยู่ กำจัดสิ่งสกปรกในอากาศโดยตกลงมาเป็นฝน และทำหน้าที่ปกคลุมไม่ให้ความร้อนสูญเสียจากโลกมากเกินไป

Radiant Energy and Light

Radiant energy หรือความร้อนที่แผ่ออกมานั้นไม่สามารถแยกแยะออกจากแสงได้อย่างชัดเจน โดยความจริงแล้วความแตกต่างระหว่างการแผ่รังสีความร้อนกับการแผ่รังสีของแสงนั้นขึ้นกับการมองเห็นของเราโดยตรง พลังงานที่มาถึงเราและสามารถมองเห็นได้เป็นส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีจาก hot body เช่น ดวงอาทิตย์ เป็นต้น ส่วนใหญ่ของพลังงานดวงอาทิตย์นั้นจะมองไม่เห็น คลื่นที่แผ่ออกมาเรียกว่า

electromagnetic wave (คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) ซึ่งเป็น transverse wave (คลื่นแนวขวาง) และต่างกับคลื่นเสียงซึ่งเป็น longitudinal wave (คลื่นตามยาว) หรืออาจเรียกว่า compressional wave (คลื่นอัด)

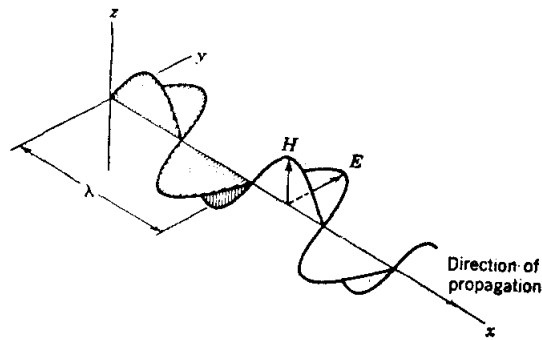


Fig. 2.1 Electric and magnetic field strengths in electromagnetic radiation.

ความเร็วของแสงเท่ากับ 3×10^{10} cm/sec ระยะจากยอดคลื่นหนึ่งไปยังอีกยอดคลื่นหนึ่ง เรียกว่า ความยาวคลื่น (wavelength) ซึ่งมีหน่วยเป็น μ (microns) หรือ A° (angstrom)

$$1 \mu = 10^{-4} \text{ cm}$$

$$1 \text{ A}^\circ = 10^{-8} \text{ cm}$$

ความยาวคลื่นที่เราสามารถมองเห็นได้อยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.7 microns หรือเท่ากับ 4000 ถึง 7000 Angstrom

Electromagnetic spectrum

เมื่อเรานำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาเรียงตามความยาวคลื่น จะเกิดเป็น electromagnetic spectrum

รูป 3.2

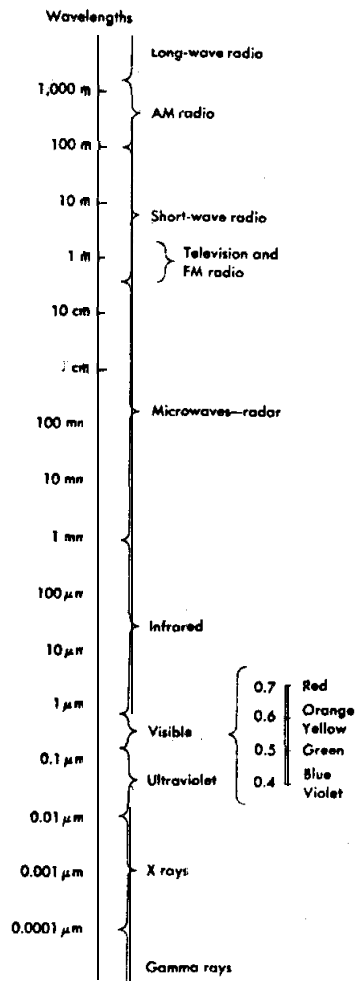


Figure 2.2 The electromagnetic spectrum showing the names given to different wavelength regions. Note the changes of units in the length scale.

จากรูปจะเห็นว่าช่วงคลื่นที่เราสามารถมองเห็นได้นั้นมีเพียงนิดเดียว นอกนั้นเป็นช่วงที่เรามองไม่เห็นทั้งสิ้น เช่น Infrared คลื่นวิทยุ คลื่น ultraviolet, x-ray เป็นต้น

black body

วัตถุที่สามารถแผ่รังสีออกจากพื้นผิวได้ 100 % หรือดูดกลืนรังสีได้ 100 % นั้นเรียกว่า black bodies เช่นดวงอาทิตย์และโลก เป็นต้น stefan นักฟิสิกส์ได้พบว่า พลังงานที่แผ่ออกจากวัตถุนั้นเป็นสัดส่วนกับ

อุณหภูมิยกกำลังสี่ ซึ่งอาจเขียนในรูปสมการได้ ดังนี้

$$E \propto T^4 \quad \text{หรือ} \quad E = \sigma T^4 \quad \sigma = \text{ตัวคงที่}$$

T = Kelvin

Kirchhoff's law กล่าวว่าวัตถุที่เป็นตัวดูดกลืนที่ดีจะเป็นตัวแผ่รังสีที่ดีด้วย ในความยาวคลื่นเดียวกัน เช่น แอมัลกัม

Wien's Law : กล่าวว่า ความยาวคลื่นของการแผ่รังสีที่มีความเข้มสูงสุด แปรผกผันกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ $\lambda_{\text{max}} \propto \frac{1}{T}$

$$\lambda_{\text{max}} \propto \frac{1}{T} \quad \text{หรือ} \quad \lambda_{\text{max}} = \frac{K}{T} \quad \text{เมื่อ} \quad K = 2880 \mu^{\circ}\text{K}$$

Transmission, Absorption, And Reflection

แสงซึ่งสามารถส่องผ่านอากาศ น้ำ และแก้ว และ x-rays ซึ่งสามารถส่องทะลุวัตถุได้นั้น เราเรียกว่าเป็นรังสีที่ถูกยอมให้ผ่าน (transmitted) ถ้ารังสีถูกสะท้อนเรียกว่า reflected ซึ่งเป็นการสะท้อนโดยไม่เข้าไปในวัตถุ รังสีซึ่งถูกดูดกลืนโดยวัตถุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนนั้น เรียกว่ารังสีถูก absorbed เช่นโลกเราดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์แล้วแผ่กลับออกไปสู่อากาศเป็นรังสีคลื่นยาว (รังสีความร้อน) เป็นต้น

Green house Effect

อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเกิดจากอิทธิพลของคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน และไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศ เมื่อรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้พร้อมกับแสง ultraviolet และ Infrared ส่องทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงมา รังสีจะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศส่วนหนึ่งและจำนวนส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลก พื้นดินและมหาสมุทรจะอุ่นมากขึ้นและจะส่งรังสีอินฟราเรดซึ่งเราเรียกว่า Terrestrial radiation กลับออกสู่อากาศ รังสีคลื่นยาวเหล่านี้จะถูกดูดกลืนโดยไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และโอโซนซึ่งมีคุณสมบัติไม่ยอมให้คลื่นยาวผ่านแต่ยอมให้คลื่นสั้นผ่านได้ ดังนั้นจึงทำให้ชั้นบรรยากาศร้อนเพิ่มขึ้น ผลที่เกิดจากกักความร้อนและทำให้อากาศอุ่นกว่าที่ควรเป็นนั้นเรียกว่า greenhouse effect ถ้า

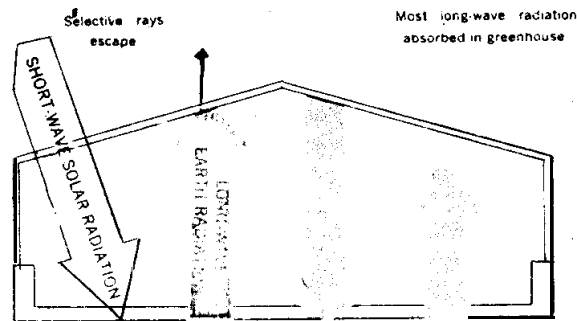


Figure 2. 3 Illustrating the greenhouse effect of the earth's atmosphere. The glass in the roof and sides of the greenhouse, like the atmosphere, is relatively transparent to short-wave solar energy but relatively opaque to long wave earth radiation.

ส่วนประกอบใด ขององค์ประกอบของกาซทั้งสามนี้โดยเฉพาะ CO₂ เพิ่มมากขึ้น ก็จะทำให้อุณหภูมิบนผิวโลกเพิ่มขึ้นด้วย ประมาณว่าบรรยากาศของโลกขณะนี้ประกอบด้วย CO₂ 2.3 x 10⁶ ล้านตัน ซึ่งอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับพืชที่ต้องการใช้สังเคราะห์แสง และน้ำในมหาสมุทรที่ค่อยละลายอยู่ การเผาไหม้และเครื่องยนต์ในขณะนี้ได้เพิ่ม CO₂ ลงในบรรยากาศนับเป็นล้านตันทุกปี ผลอันนี้จะทำให้โลกร้อนขึ้นจากปกติและจะมีผลต่อฤดูกาลและสิ่งมีชีวิตโดยตรง

โครงสร้างของบรรยากาศ (structure of the atmosphere)

ในสมัยก่อนการประดิษฐ์จรวดและดาวเทียม นักวิทยาศาสตร์เข้าใจว่ามีขอบเขตจำกัดที่แน่นอนของอากาศและอุณหภูมิจะลดลงไปเรื่อย ๆ ตามความสูงจนถึงขอบนอกสุด แต่หลังจากการส่งจรวดออกไปสำรวจบรรยากาศแล้วพบว่า ไม่มีขอบเขตจำกัดที่แน่นอนของบรรยากาศ ความหนาแน่นของอากาศเบื้องนอกจะค่อยเจือจางลงเรื่อย ๆ และอุณหภูมิก็มไม่ได้ลดลงตามความสูง จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแนวตั้งของบรรยากาศ เราสามารถแยกออกได้เป็น 4 ชั้น คือ

1. Troposphere
2. Stratosphere
3. Mesosphere
4. Thermosphere (รูป 2.4)

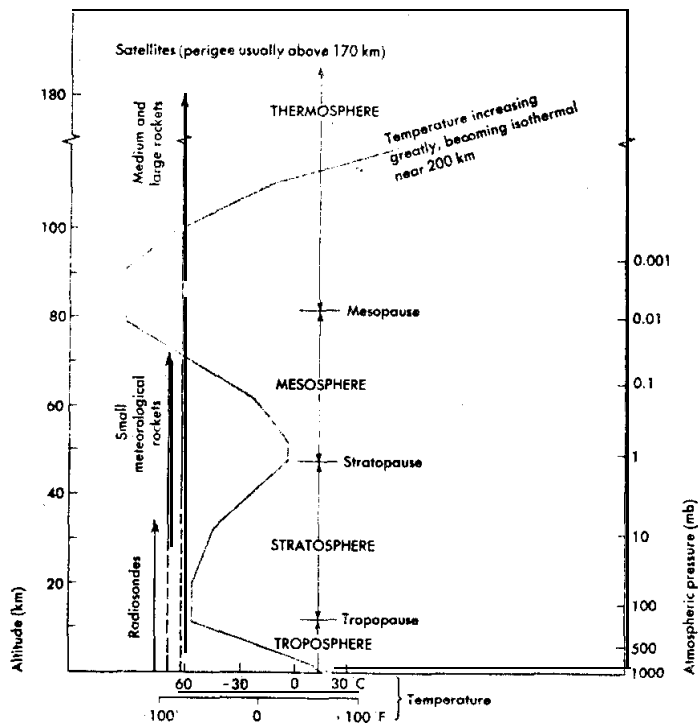


Figure 2.4 Average temperatures of the atmosphere as a function of height and the techniques used to measure them. The temperature structure defines the various regions identified on the drawing. From R. S Quiroz, *Bulletin of American Meteorological Society*, 1972, 53: 122-133.

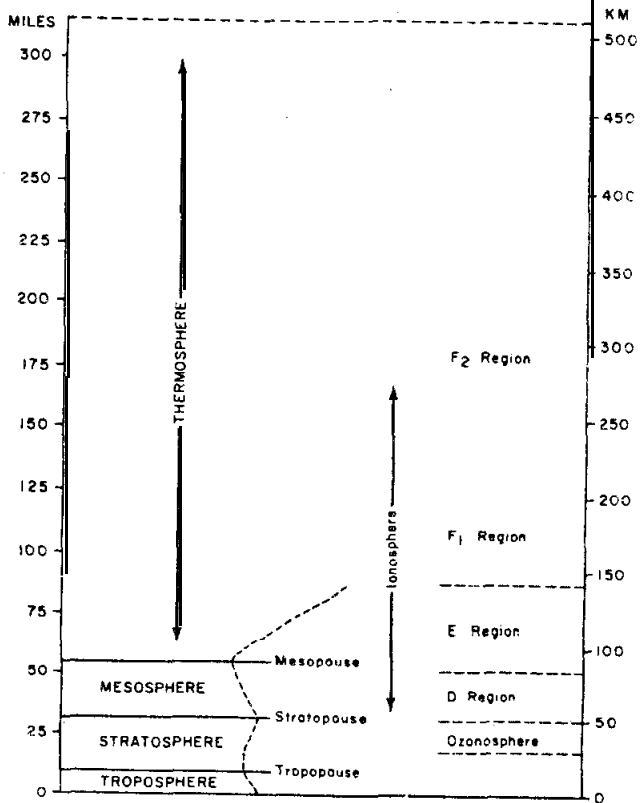


FIG. 2.5

Atmospheric Stratification. The boundaries of the different spheres of the atmosphere are not rigidly defined. The dashed line indicates the principal characteristics of the average temperature on which the various spheres are based.

1. **Troposphere** เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ถัดไปจากพื้นผิวโลกซึ่งสูงเฉลี่ยประมาณ 13 ก.ม (ดูรูป) มวลของบรรยากาศส่วนใหญ่อยู่ในชั้นนี้ ซึ่งเป็นชั้นที่มนุษย์เราอาศัยอยู่ ดังนั้นจึงเป็นชั้นที่น่าสนใจศึกษามากที่สุด ในส่วนนี้ของบรรยากาศ อากาศไม่เคยหยุดนิ่ง ดังนั้นจึงได้ชื่อว่า Troposphere (ภาษากรีก Tropo แปลว่า เปลี่ยนหรืออวล) กระแสอากาศในชั้นนี้จะช่วยแผ่กระจายความชื้นขึ้นไปสูงและชั้นนี้เองเป็นที่เกิดของภูมิอากาศตลอดจนเมฆและพายุ

ขณะที่อากาศร้อนลอยตัวขึ้นสูงจากพื้นโลกก็จะขยายตัวและจะเย็นตัวลง ซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิของอากาศเย็นลงทีละน้อย โดยทั่วไปลมมักจะพัดแรงมากขึ้นตามความสูงและในชั้นเกือบบนสุดของ troposphere นั้น จะมีลมที่พัดด้วยความเร็วสูงซึ่งมีแนวแคบเรียกว่า ลมกรด (Jet stream) ลมนี้พัดอยู่ในระยะความสูง 10,000 ถึง 12,000 m, ที่แกนกลาง (Core) ของลมกรดมี ความเร็วสูงสุด ความเร็วลมอาจสูงถึง 460 ก.ม/ช.ม ความกว้างของแนวลม 40-160 ก.ม และหนา 2-3 ก.ม ลักษณะทางเดินของลมกรดเคียว พัดจากตะวันตกไปตะวันออก (westerlies) เป็นที่เชื่อว่าลมนี้มีอิทธิพลในการบังคับทิศทางของมวลอากาศ ดังนั้นจึงมีส่วนรับผิดชอบเกี่ยวกับอากาศต่าง ๆ บนพื้นโลก ลมกรดมีระบบที่ค่อนข้างซับซ้อนและนักอุตุนิยมวิทยาจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอีก รูปข้างล่างแสดงถึงระบบ Jet stream ที่ค้นพบ ซึ่งมี 3 ระบบ

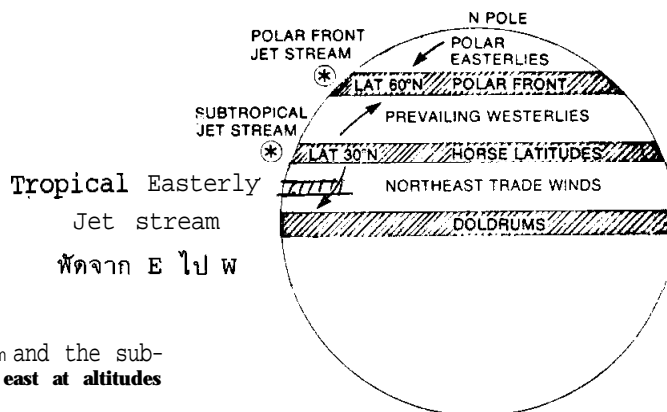


Figure 2.7 The polar-front jet stream and the sub-tropical jet 'stream flow from west to east at altitudes around 35,000 feet

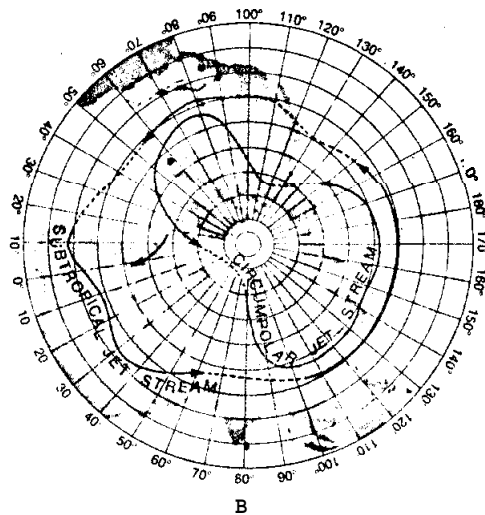
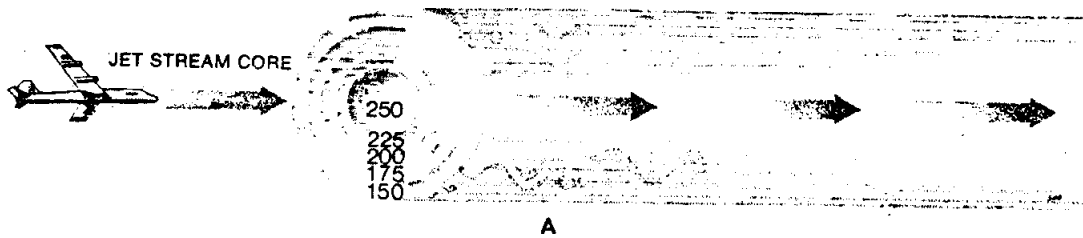


Figure 2.6 There are two main jet-stream systems in the upper atmosphere.

- 1.1 Tropopause ชั้นโทรโปพอสฟีในภาษากรีกแปลว่า ที่ซึ่งหยุดการผสม (where the mixing stops) ชั้นนี้สูงประมาณ 17 ก.ม เหนือแถบเส้นศูนย์สูตรและจะค่อย ๆ ลดลงเหลือ 6.4 ก.ม ที่บริเวณขั้วโลก สาเหตุเพราะพื้นผิวที่ร้อนระอุแถบเส้นศูนย์สูตรทำให้เกิดกระแสการพาความร้อนในแนวตั้ง (convection) จำนวนมากเกิดขึ้น และเป็นเหตุให้อากาศหมุนวนเหนือศูนย์สูตรสูงกว่าแถบขั้วโลก เหตุนี้เองทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงเหลือ -85°C (ดูรูปภาพ) ส่วนที่ขั้วโลกเหนือนั้น อากาศไม่มี convection มากเท่าเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นอุณหภูมิจะลดเหลือประมาณ -60°C เท่านั้น ความสูงของ Tropopause เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี จะสูงขึ้นในฤดูร้อนและลดลงในฤดูหนาว พร้อมกันนั้นถ้าหากความดันที่พื้นผิวมากขึ้นนี้ก็จะสูงขึ้นและต่ำลงเมื่อความดันที่พื้นผิวลดลง
2. Stratosphere เหนือระยะโทรโปสเฟียร์ การเคลื่อนไหวในแนวตั้งมีเล็กน้อย อุณหภูมิเกือบไม่เปลี่ยนแปลง และชั้น (Layer) ค่อนข้างคงที่ (ภาษาลาติน stratum หมายถึงการครอบคลุม) ส่วนนี้ของบรรยากาศขยายจากชั้นโทรโปพอสจนถึงความสูงประมาณ 32 ก.ม เป็นชั้นที่เกือบปราศจากเมฆ นอกจากบางครั้งจะมีเมฆคล้ายขนนกลอยอยู่ในอาณาบริเวณส่วนล่าง แม้ว่า เป็นชั้นที่เจียบแต่ก็มีผลบางอย่างต่อกาลอากาศของเรา
3. Mesosphere (มิโซสเฟียร์) เหนือชั้นสตราโตสเฟียร์ขึ้นไป อุณหภูมิจะสูงขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว และจะไปถึงจุดสูงสุดที่ -1°C ณ ความสูง 48 ก.ม และจะลดลงอย่างรวดเร็วจนเหลืออุณหภูมิต่ำที่สุด -90°C ที่ความสูง 85 ก.ม อุณหภูมิและความสูงที่กล่าวนี้ขึ้นกับเส้นละติจูดและฤดู อาณาเขตระหว่างยอดของสตราโตสเฟียร์และที่ความสูง 85 ก.ม เรียกว่ามิโซสเฟียร์ ซึ่งมาจากภาษากรีก mesos หมายถึงกลาง ๆ ชั้นนี้มีคุณสมบัติคล้ายสตราโตสเฟียร์
4. Thermosphere (เทอร์โมสเฟียร์)
- เหนือจากชั้นมิโซสเฟียร์อุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา กลางวันหรือกลางคืน ตลอดจนการรบกวนที่เนื่องจากระบบสุริยะจักรวาล ที่ความสูง 400 ก.ม อุณหภูมิจะคงที่จนถึงส่วนนอกของบรรยากาศ อาณาบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงและอยู่เหนือชั้นมิโซสเฟียร์นี้เรียกว่า Thermosphere

ไอโซนโนสเฟียร์

สิ่งพิเศษของชั้นสตราโตสเฟียร์ก็คือชั้นของโอโซน โมเลกุลของออกซิเจนในส่วนนี้ของบรรยากาศจะดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์และแตกตัวออกเป็นออกซิเจนอะตอมที่อิสระ อะตอมของออกซิเจนเหล่านี้จะรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนกลายเป็น O_3 และเนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นพร้อมกับความสูง ดังนั้นจำนวนโอโซนที่สร้างขึ้นก็ควรจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากความเข้มข้นของ O_2 ซึ่งออกซิเจนอะตอมจะมารวมด้วยนั้นลดลงตามความสูง ดังนั้นเราจะเห็นว่าจำนวนโอโซนที่เพิ่มจะสูงขึ้นจนถึงที่ความสูงอันหนึ่งและจะลดลงตามเดิม สำหรับโอโซนนั้นจะมีจำนวนเล็กน้อยที่ความสูง 13 ก.ม และจะเพิ่มมากที่สุดที่ความสูง 24 ก.ม และจะลดลงเหลือจำนวนเล็กน้อยอีกที่ความสูงประมาณ 32 ก.ม อาณาบริเวณที่มีโอโซนมากที่สุดนี้เรียกว่า ไอโซนโนสเฟียร์ ได้มีการค้นพบว่าชั้นนี้หนาและต่ำที่ขั้วโลกมากกว่าแถบศูนย์สูตร และจำนวนโอโซนจะมีมากที่สุดในฤดูใบไม้ผลิ และมีน้อยที่สุดในฤดูร้อน การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในชั้นมิโซสเฟียร์นั้นเนื่องจากความร้อนที่ถูกปล่อยออกมา เมื่อ O_3 ใกล้เคียงบนสุดของไอโซนโนสเฟียร์ดูดกลืนพลังงานของแสงอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ จะแตกตัวรวมกลับเป็นออกซิเจนโมเลกุลธรรมดา

ได้มีการค้นพบอีกว่าความเข้มของ O_3 ลดลงพร้อมกับทางผ่านของแนวปะทะอากาศร้อนและจะเพิ่มขึ้นเมื่อแนวปะทะอากาศเย็นผ่านไป ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศ

ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere)

Periodic Table of Elements (ตารางธาตุ)

ธาตุทุกชนิดประกอบด้วย nucleus อยู่ตรงกลาง นิวเคลียสมีประกอบด้วย proton ซึ่งมีประจุบวกและ neutrons ซึ่งมีประจุเป็นกลาง นิวเคลียสจะถูกล้อมรอบด้วย electrons ซึ่งมีจำนวนเท่ากับโปรตอน (หรือประจุบวก) electrons จะหมุนรอบ nucleus ในลักษณะเป็น shell (คำว่า shell หมายถึงบริเวณใน space ที่ electron อาจจะถูกพบ) ถ้าจะพูดให้ถูกต้องยิ่งขึ้น การหมุนของ electrons ในรูปโครงสร้างที่เป็น shell นั้น ขึ้นกับกฎ exclusion principle ซึ่งนักฟิสิกส์ Wolfgang Pauli เป็นคนตั้งขึ้น

ในปัจจุบันธาตุที่ถูกค้นพบมี 1.3 ธาตุ ลักษณะการหมุนของ electron ภูเก็ตได้จากตารางธาตุข้างล่างนี้ ซึ่งแสดงเพียงส่วนหนึ่งของตารางธาตุเท่านั้น shell ของ electron ที่ล้อมรอบ nucleus เรียงกันดังนี้

รูป 2.8 The pattern of electron structure illustrated by the first group of elements

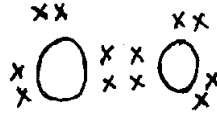
Shell			K	L		M		
Element		Atomic number						
Hydrogen	H	1	1					
Helium	He	2	2					
Lithium	Li	3	2	1				
Beryllium	Be	4	2	2				
Boron	B	5	2	2	1			
Carbon	C	6	2	2	2			
Nitrogen	N	7	2	2	3			
Oxygen	O	8	2	2	4			
Fluorine	F	9	2	2	5			
Neon	Ne	10	2	2	6			
Sodium	Na	11	2	2	6	1		
Magnesium	Mg	12	2	2	6	2		

วงแรกเรียก K shell วงถัดไปก็จะเป็น L M,N เป็นต้น au K shell มีได้ 2 electrons L-shell มีได้ 8 electrons M-shell มีได้ 18 electrons N-shell มีได้ 32 electrons เป็นต้น ธาตุใดที่มี electron วงนอกสุดครบตามที่กำหนดแล้วจะเป็นธาตุที่ inert คือไม่ค่อยทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น เช่น Helium มี electrons วงนอกเท่ากับ 2 เป็นต้น

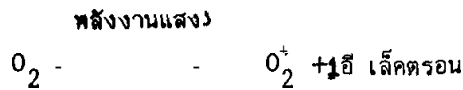
โครงสร้างของออกซิเจนโมเลกุล

จากตารางธาตุ ออกซิเจน (O) มี atomic number เท่ากับ 8 หมายความว่าออกซิเจนอะตอมมี electrons ล้อมรอบอยู่ 8 ตัว (ซึ่งเท่ากับจำนวน proton ใน nucleus ที่มีอยู่ 8 เช่นเดียวกัน) เมื่อ K-shell มี electrons ได้ไม่เกินสอง เพราะฉะนั้นในวงถัดไปคือ L-shell ก็จะมี electrons เพียง 6 ตัว ซึ่งในการเขียนโครงสร้างนั้นจะเขียนแค่จำนวน electrons ที่ล้อมรอบนิวเคลียสเฉพาะแต่่วงนอกเท่านั้น ในกรณีของออกซิเจนก็จะเขียน electrons 6ตัวของวงนอก

ลักษณะโครงสร้างของอ็อกซิเจนโมเลกุลซึ่งเป็น diatomic molecule (1 โมเลกุลประกอบด้วย อ็อกซิเจน 2 atom) อาจเขียนได้ดังนี้



เมื่อพลังงานของแสงอุลตราไวโอเล็ตวิ่งมาชนกับอ็อกซิเจนโมเลกุล จะ knock ให้ electron หลุดกระเด็นออกไปและอ็อกซิเจนโมเลกุลกลายเป็นอ็อกซิเจนไอออนส์ตั้งสมการ



เหตุการณ์ลึกลับมักจะปรากฏในชั้นเหนือ stratosphere ที่ซึ่งมีความดันต่ำ จำนวนโมเลกุลของ อากาศมีน้อยและความเข้มของแสงอาทิตย์มีมาก ชั้นนี้ได้รับรังสีต่าง ๆ จำนวนมหาศาล เช่น รังสีอุลตราไวโอเล็ต x-rays และประจุต่าง ๆ จากดวงอาทิตย์ รวมทั้งรังสีคอสมิคส์จากอวกาศเบื้องนอก รังสีเหล่านี้มีผลต่อ โมเลกุลของอากาศและสนามแม่เหล็กโลก

ในปี ค.ศ. 1882 Belfour Stewart (เบลโฟร์ สจวร์ต) นักฟิสิกส์ชาวสก๊อตได้ค้นพบว่า สนามแม่เหล็กโลกเปลี่ยนแปลงความเข้มไปแต่ละวัน ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงภายใน โลกเอง เขาแนะนำว่าบางแห่งในชั้นบนของชั้นบรรยากาศจะต้องมีชั้นของอากาศที่สามารถเป็นสื่อนำไฟฟ้า และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าในอากาศนี้มีผลต่อสนามแม่เหล็กโลกเดิม อย่างไรก็ตามการ แนะนำนี้ไม่ค่อยมีผู้สนใจจริงจัง

สิบเก้าปีต่อมา Guglielmo Marconi (มาร์โคนี) ได้ส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก เป็นระยะทาง 2880 ก.ม เมื่อคำนึงถึงความโค้งของโลก สัญญาณจะรับได้ไกลเช่นนั้นไม่ได้โดยปราศจาก การสะท้อน เพื่ออธิบายปรากฏการณ์นี้ Arthur Edwin Kennelly แห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ดและ โอลิเวอร์ เฮฟวิไซด์ (Oliver Heaviside) แห่งประเทศอังกฤษได้แนะนำว่า การที่เป็นผลเช่นนั้นได้ เพราะเกิดจากประจุต่าง ๆ ในชั้นที่ไม่หนาแน่นของบรรยากาศกระทำตัวเหมือนกระจกแผ่นใหญ่สะท้อนคลื่นวิทยุ

ชั้นที่เกิดขึ้นนี้พบว่าอยู่เหนือพื้นโลกประมาณ 88 ก.ม และเรียกว่าชั้นเฮพไรต์

ในปี ค.ศ. 1924 Edward V. Appleton แห่งอังกฤษทดลองใช้เสาอากาศที่มีทิศทางส่งและรับ สัญญาณวิทยุและได้แสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่รับและส่งนั้นสะท้อนจากชั้นของอิออนส์สูง 85 ก.ม ถึง 109 ก.ม เหนือพื้นโลก ถ้าหากใช้คลื่นที่มีความถี่สูงขึ้นหรือคลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นลง เขาสามารถส่งวิทยุทะลุชั้นนี้และพบพื้นผิวที่สะท้อนอันอื่นที่ความสูง 192 ก.ม เพื่อที่จะแยกแยะและเรียกชั้นอิออนส์ให้ง่ายเข้า เขาให้ชื่อว่าชั้น E และ F ในเวลากลางวันชั้นของอิออนส์นี้แบ่งออกเป็นสองชั้น ชั้น E_1 และ E_2 พบที่ความสูงระหว่าง 85 ก.ม ถึง 144 ก.ม ชั้นที่แตกตัวเป็นอิออนส์นี้สะท้อนคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่น 300 ถึง 400 ม. ชั้น F_1 และ F_2 พบที่ความสูง 160 ก.ม ถึง 960 ก.ม สำหรับชั้น F_2 นั้นสะท้อนคลื่นวิทยุที่สั้นกว่า และถ้าหากไม่ใช้ชั้น F_2 ที่ความสูง 248 ก.ม การกระจายเสียงในระยะทางไกลก็ไม่อาจเป็นไปได้ หลังจากนี้ชั้นที่อยู่ต่ำกว่าชั้น E ก็ได้มีการค้นพบและเรียกว่าชั้น D ความสูงของชั้นนี้อยู่ระหว่าง 48 ก.ม ถึง 85 ก.ม ซึ่งจะสะท้อนเฉพาะคลื่นยาว ดังนั้นจะเห็นว่าบรรยากาศตั้งแต่ 48 ก.ม จนถึงขอบนอกของอวกาศประกอบด้วยชั้นของอิออนส์ ชั้นทั้งหมดนี้เรียกว่า ไอโอโนสเฟียร์

เหตุผลที่อิออนส์เกิดขึ้นที่ความสูงนี้ก็เพราะว่า เหนือชั้นไอโอโนสเฟียร์นั้น รังสีอัลตราไวโอเล็ตบางส่วน มีพลังงานสูงพอที่จะแตกตัวโมเลกุลของ O_2 ได้มากกว่าชั้นอื่น รังสีนี้จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอกหลุดออกจากโมเลกุลของออกซิเจน และเกิดเป็นออกซิเจนอิออนส์ (O_2^+) กับอิเล็กตรอนอิสระ รังสีอัลตราไวโอเล็ตบางส่วนที่เจาะทะลุลงมาในชั้นบรรยากาศยังสามารถทำให้โมเลกุลของ O_2 แตกตัวเป็นอะตอมที่อิออนส์ไปแล้วแต่ รังสีนี้ไม่มีพลังงานเพียงพอที่จะแตกตัวโมเลกุลของ N_2 ดังนั้นชั้น D จะประกอบด้วย O_2^+ และอิเล็กตรอนอิสระ เป็นส่วนใหญ่ เมื่อพระอาทิตย์ได้ตกไปแล้ว สิ่งที่ทำให้ก๊าซแตกตัวทั้งหมดไป อิเล็กตรอนอิสระจะรวมตัวกับ O_2^+ กลับเป็นออกซิเจนโมเลกุลตามเดิม ด้วยเหตุนี้ถ้าเราเข้ชั้น D จะหายไปในเวลากลางคืนและจะกลับเกิดขึ้นใหม่ในช่วงระยะเวลาอันสั้นหลังจากพระอาทิตย์ขึ้นจากขอบฟ้า ชั้น D นี้จะพยายามดูดกลืนพลังงานทุกอย่าง นอกจากคลื่นยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะสะท้อนกลับในเวลากลางวัน คลื่นวิทยุธรรมดาจะถูกลดความเข้มลงในขณะที่ผ่านชั้นนี้ และเมื่อในระหว่างที่สะท้อนกลับความเข้มก็ถูกลดลงไปอีก ดังนั้น วิทยุคลื่นสั้นจะรับได้ดีในเวลากลางวันหลังจากที่ชั้น D ได้หายไปแล้ว ในระหว่างที่เกิดจุดดับในดวงอาทิตย์ ชั้น D จะเกิดได้ดีและดูดกลืนคลื่นวิทยุที่มีความถี่ทั้งขนาดกลางและขนาดสูง ซึ่งเป็นการขัดขวางการติดต่อในระยะทางไกล

ในอวกาศเขตชั้น E แสง x-rays จากดวงอาทิตย์ทำให้ O_2 , N_2 , NO และออกซิเจนอะตอมแตกตัว จากจรรยาทดสอบแสดงให้เห็นว่า NO^+ เป็นอิออนส์ที่มีมากที่สุด มีจำนวน O_2^+ และ O^+ อยู่บ้าง ความหนาแน่น

ของอิเล็กตรอนในชั้นนี้มีมากกว่าในชั้น D ในเวลากลางคืน electron จะหายไปชั้น D แต่ในชั้น E เนื่องจากอิออนส์เหล่านี้อยู่ห่างกันมากกว่า ดังนั้นชั้น E จึงไม่ได้หายไปหมดในระหว่างเวลากลางคืน ชั้นนี้ถือตัวดีกว่าชั้น D และจะสะท้อนคลื่นวิทยุที่มีความถี่ปานกลางได้ดีมาก ในชั้น F, F₁ จะพบในเวลากลางวัน และจะไปรวมกับ F₂ ในเวลากลางคืน

ปรากฏการณ์ที่น่าสนใจซึ่งเกิดในท้องฟ้าและอยู่ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้แก่แสงเหนือ (aurora borealis) และแสงใต้ (aurora australis) เป็นแสงที่พาดโค้งในแถบเหนือมีลักษณะเป็นสีเขียวแต่บางครั้งอาจเป็นสีแดงหรือน้ำเงิน ปรากฏการณ์นี้เกิดที่ขั้วโลกและมีความสูงระหว่าง 80 กม. ถึง 960 กม. แสงเหนือเกิดจากอนุภาคของประจุต่าง ๆ จากเบื้องนอกโลกร่วงเข้าสู่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสนามแม่เหล็กโลกจะทำให้เบี่ยงเบนไป และไปสะสมที่ขั้วแม่เหล็กโลกทำให้เกิดแสงสีอันสวยงาม

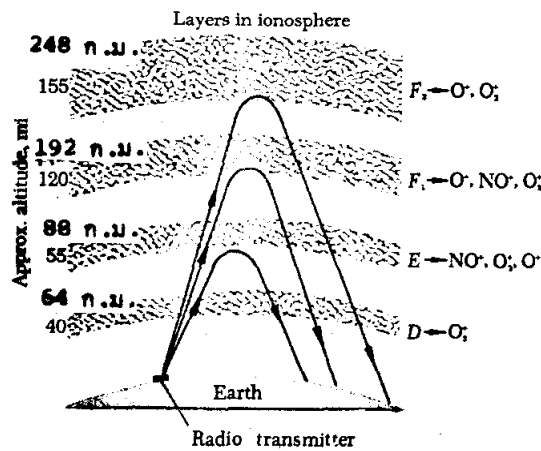
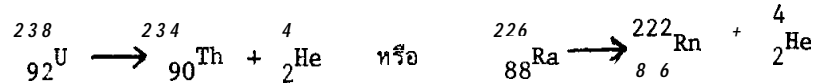


Figure 2.9 • Reflection of radio waves by the layers of the ionosphere.

เอ็กโซสเฟียร์ (exosphere)

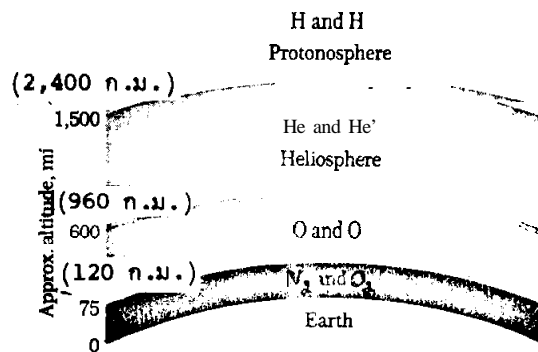
เราเห็นแล้วว่า ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของอากาศเป็นไนโตรเจนและออกซิเจนโมเลกุลอยู่ใกล้กับพื้นโลก เปอร์เซนต์ส่วนผสมของก๊าซทั้งสองจะคงที่แม้ว่าจะสูงขึ้นจากพื้นโลกไปเรื่อย ๆ แต่เมื่อขึ้นไปถึงชั้นไอโอโนสเฟียร์แล้ว ก๊าซต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกทำให้แตกตัว ออกซิเจนโมเลกุลจะกลายเป็นออกซิเจนอะตอม ยิ่งสูงขึ้นไปมาก ออกซิเจนอะตอมก็ยังมีมาก อย่างไรก็ตาม ถ้าเราพล็อตกราฟระหว่างความหนาแน่นของอิออนส์กับความสูงเรา

จะพบการเปลี่ยนแปลงที่ความสูง 960 ก.ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงก๊าซที่เบากว่า นั่นคือ ฮีลอนส์ของฮีเลียม (He^+)' ที่ระยะความสูงเหนือ 960 ก.ม ฮีเลียมอะตอมมีมากกว่าออกซิเจนอะตอม ดังนั้น ส่วนของบรรยากาศที่อยู่เหนือ 960 ก.ม จะมีโครงสร้างแตกต่างจากอวกาศบริเวณส่วนล่าง ส่วนนี้เรียกว่า exosphere ซึ่งมาจากภาษากรีกแปลว่านอกสุด อุณหภูมิในส่วนนี้จะสูงและอะตอมของอากาศจะอยู่กันห่าง ๆ จนสามารถหนีออกไปสู่อวกาศได้ก่อนที่จะชนกันเอง โดยเหตุนี้ก๊าซฮีเลียมจะต้องมีการทดแทนอยู่ตลอดเวลา สำหรับสมมุติฐานที่ตั้งขึ้นในขณะนี้ ฮีเลียมได้รับการชดเชยจากการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีจากพื้นดิน เช่น



เนื่องจากก๊าซ He เบากว่าก๊าซอื่น (ยกเว้นไฮโดรเจน) ดังนั้นจึงลอยตัวขึ้นเบื้องบนของชั้นบรรยากาศและให้ชื่อว่า เฮลิโอสเฟียร์ (Heliosphere) (ดูรูป)

Figure 2 . 10• Components of the atmosphere.



เหนือชั้น Heliosphere ขึ้นไปเป็นบริเวณของไฮโดรเจนฮีลอนส์ เนื่องจากเป็นก๊าซที่เบาที่สุดไฮโดรเจนจึงถูกบังคับให้ขึ้นไปอยู่ส่วนบนสุดของบรรยากาศ อะตอมของฮีลอนส์เหล่านี้มีพลังงานเพียงพอที่จะหนีออกไปสู่อวกาศเช่นกัน แต่ก็สามารถแทนที่ด้วย Proton ซึ่งมาจากดวงอาทิตย์และมาจากการแตกตัวของน้ำและแก๊สมีเทนในบรรยากาศเบื้องล่าง อากาศเขตของไฮโดรเจนนี้เริ่มจากความสูงประมาณ 2400 ก.ม และต่อไปจนถึงระหว่างดวงดาวในอวกาศ ชั้นนี้เรียกว่า Protonosphere