ฟิสิกส์บรรยากาศ

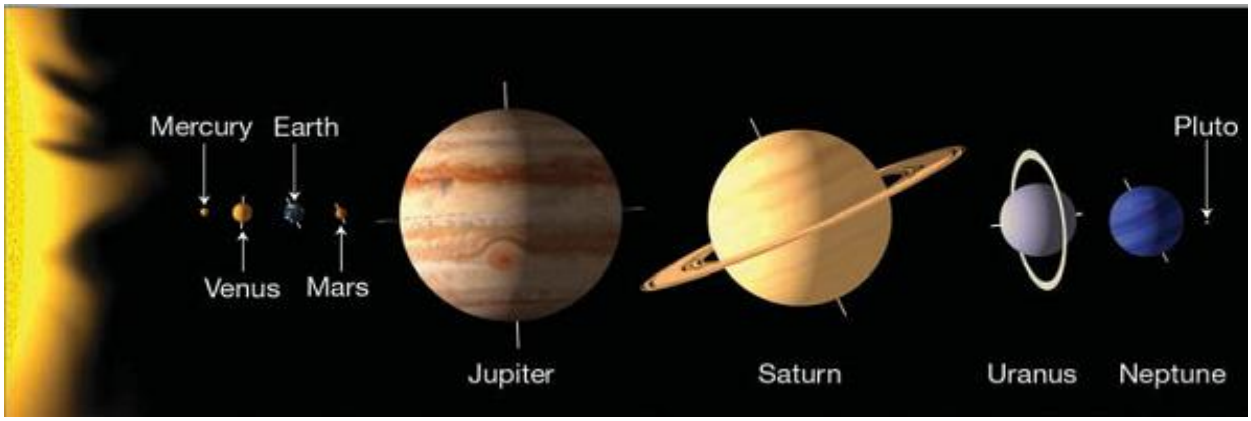
บทที่ 1
โลกและบรรยากาศ (Atmospheric Physics)

ฟิสิกส์บรรยากาศ (Atmospheric Physics)

การศึกษาปรากฏการณ์ในบรรยากาศของโลก โดยใช้วิชาฟิสิกส์มาอธิบาย การเกิดปรากฏการณ์เหล่านั้น เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศตามความสูง การเกิดเมฆ การเกิดหยาดน้ำฟ้า การเกิดแสงสีต่างๆ ในบรรยากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาแบบจำลอง (model) ในทางอุตุนิยมวิทยา และภูมิอากาศ ด้วย

1.1 บรรยากาศของโลก

จักรวาลประกอบด้วย กาแลกซี่พันล้าน แต่ละกาแลกซี่ประกอบขึ้นด้วยดาวต่างๆเป็นพันล้านซึ่ง ดวงดาวเหล่านี้มีความร้อนสูงมาก เนื่องจากประกอบด้วยกลุ่มก๊าซที่มีพลังงาน เกิดจากการเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมใกล้ศูนย์กลางดวงอาทิตย์ของเราเป็นดาวที่อยู่บริเวณขอบของกาแลกซี่ทางช้างเผือก มีดาวเคราะห์เป็นบริวารหมุนรอบ 8 ดวง (สำหรับดาวพลูโต ปัจจุบันถูกจัดเป็นดาวเคราะห์แคระ) นอกจากนี้ยังมีดาวหาง อุกกาบาต และดาวเคราะห์แคระอื่นๆ อยู่ในระบบสุริยะ



ดาวเคราะห์ที่เป็นบริวารของดวงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ ซึ่งอยู่ห่างออกไป 156 ล้านกิโลเมตร (53 ล้านไมล์) ซึ่งเป็นพลังงานเพียงเล็กน้อยที่ดวงอาทิตย์ปลดปล่อยออกมา พลังงานดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ในบรรยากาศ เกิดลม และสภาพอากาศ ซึ่งทำให้อุณหภูมิผิวโลกมีค่าเฉลี่ย 15 ℃ แม้ว่าบางแห่งอาจจะมีอุณหภูมิต่ำถึง -85 ℃ ในตอนกลางคืน ของแอนตาร์คติก และสูงถึง 50 ℃ ในกลางวัน บริเวณทะเลทรายกึ่งเขตร้อน

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกมีความบางมาก แต่ประกอบด้วยก๊าซที่มีจำนวนมาก เช่น ไนโตรเจน ออกซิเจน และก๊าซจำนวนน้อยอื่นรวมทั้ง ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ยังปกคลุมด้วยเมฆ ซึ่งประกอบด้วยหยดน้ำและผลึกน้ำแข็ง บรรยากาศโลกมีความหนาหลายร้อยกิโลเมตรแต่ 99 เปอร์เซ็นต์ ของบรรยากาศอยู่ที่ระดับไม่เกิน 30 กม. (19 ไมล์) หากเราบีบโลกให้มีขนาดเล็กเท่าลูกวอลเลย์บอล บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกจะมีความหนาประมาณเท่าแผ่นกระดาษ แต่ถึงกระนั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก สามารถป้องกันรังสี ultraviolet จากดวงอาทิตย์อุกกาบาตจากนอกโลก บรรยากาศของโลกจะค่อยๆบางลงจนหายไปจากโลก

1.2 ส่วนประกอบของบรรยากาศ

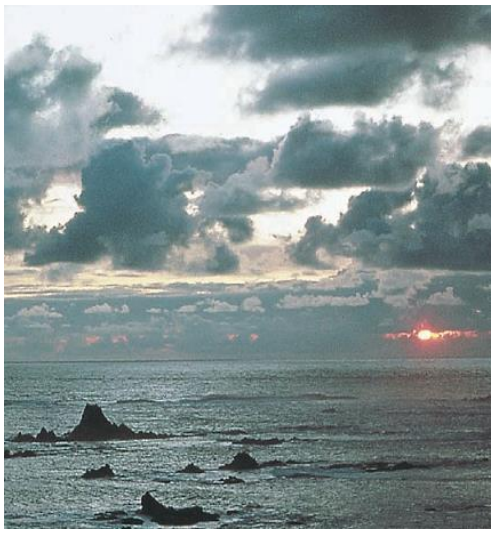
อากาศที่ห่อหุ้มโลกถ้าเทียบโดยปริมาตรบริเวณใกล้ผิวโลกจะประกอบด้วย ไนโตรเจน 73 % ออกซิเจน 21% โดยปริมาตรของอากาศแห้ง และจะคงที่ไปจนถึงระดับความสูง 80 กม. (50ไมล์) ที่ผิวโลก ความสมดุลของก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นและสลายไปเกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น ก๊าซไนโตรเจนในอากาศถูกนำไปใช้ในขบวนการชีววิทยาของแบคทีเรียในดิน และถูกแพลงตอนในน้ำทะเลนำไปใช้ผลิตอาหารในห่วงโซ่อาหารในทะเล ไนโตรเจนถูกผลิตกลับเข้าสู่บรรยากาศโดยการเน่าสลายของพืชและสัตว์

PERMANENT GASES			VARIABLE GASES			
Gas	Symbol	Percent (by Volume) Dry Air	Gas (and Particles)	Symbol	Percent (by Volume)	Parts per Million (ppm)*
Nitrogen	N_2	78.08	Water vapor	H_2O	0 to 4	
Oxygen	O_2	20.95	Carbon dioxide	CO_2	0.038	385*
Argon	Ar	0.93	Methane	CH_4	0.00017	1.7
Neon	Ne	0.0018	Nitrous oxide	N_2O	0.00003	0.3
Helium	He	0.0005	Ozone	O_3	0.000004	0.04†
Hydrogen	H_2	0.00006	Particles (dust, soot, etc.)		0.000001	0.01–0.15
Xenon	Xe	0.000009	Chlorofluorocarbons (CFCs)		0.00000002	0.0002

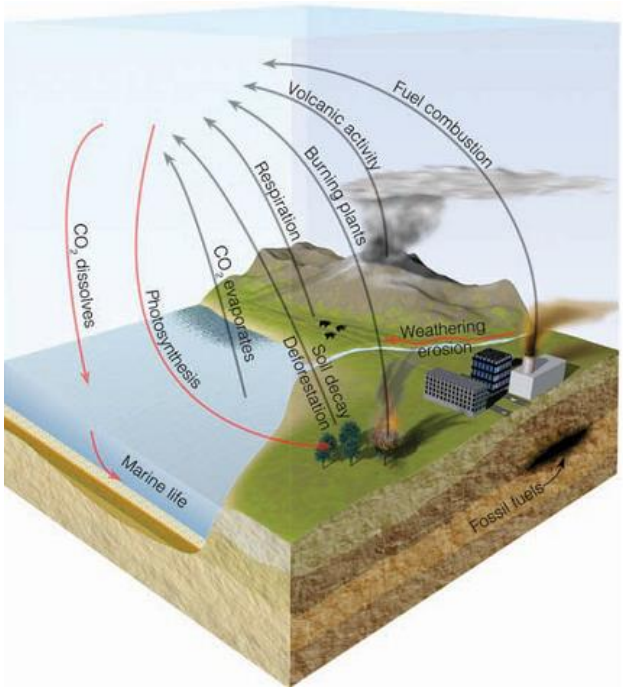
*For CO_2, 385 parts per million means that out of every million air molecules, 385 are CO_2 molecules.
†Stratospheric values at altitudes between 11 km and 50 km are about 5 to 12 ppm.

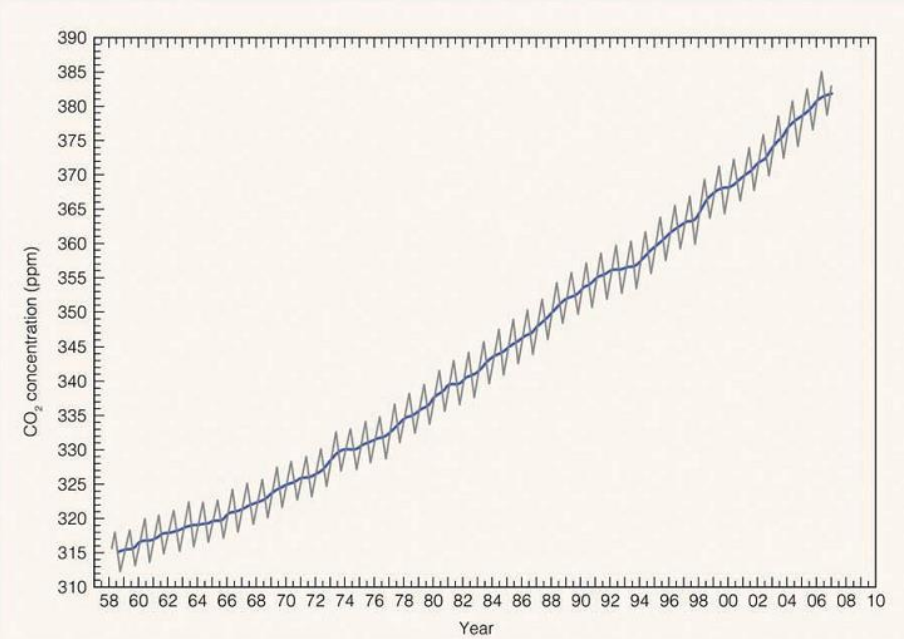
ออกซิเจนในอากาศสลายตัวโดยการรวมตัวกับก๊าซอื่น ทำให้เกิดออกไซด์ และถูกนำไปใช้แบบการหายใจ ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจนในอากาศจากขบวนการสังเคราะห์แสงของพืช โดยใช้แสงรวมตัวกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เกิดน้ำตาลและออกซิเจน

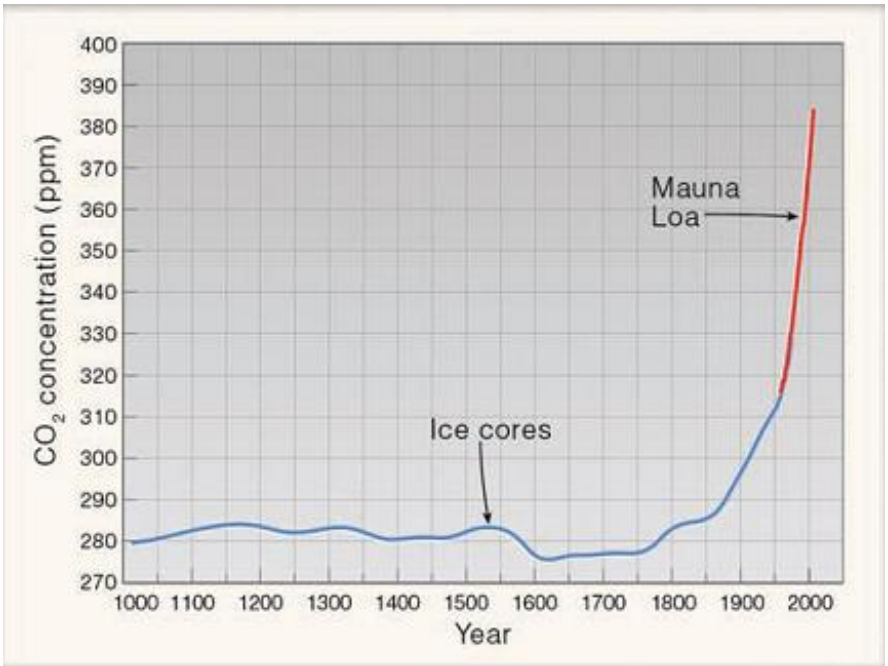
ไอน้ำในอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานที่ต่างๆในเขตร้อน ไอน้ำอาจมีปริมาณถึง 4% ในบรรยากาศเขตหนาว ขั้วโลกอาจมีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่ถึง 1% ไอน้ำในอากาศสามารถมองเห็นเมื่อกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ



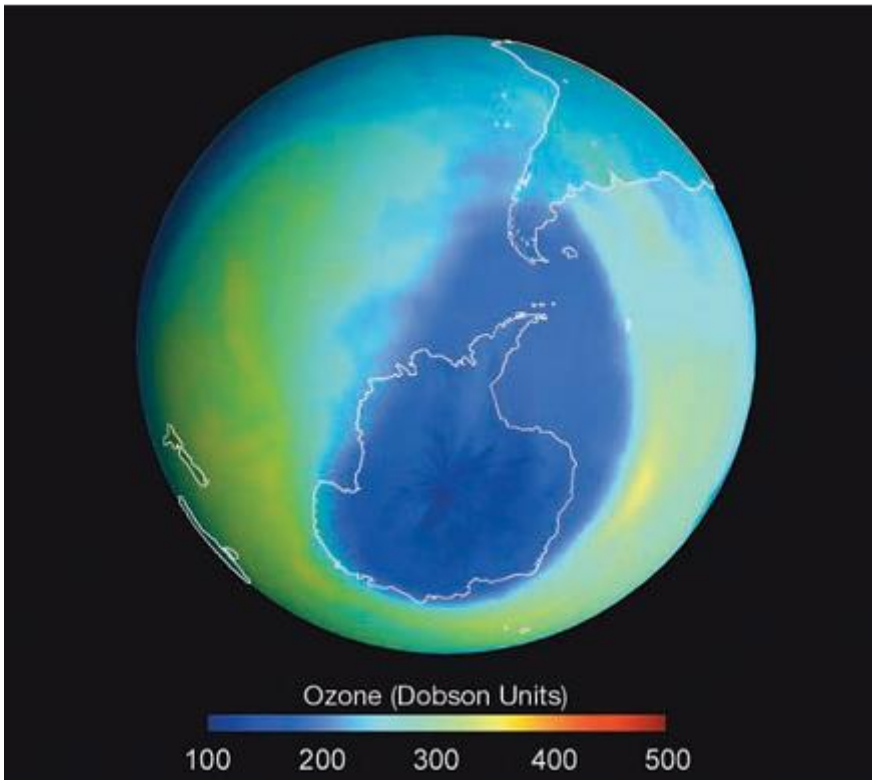
- ไอน้ำในอากาศ (H_2O) เปลี่ยนแปลงตามสถานที่ จาก 0-4 % เมื่อเปลี่ยนสถานะอาจมีการคายความร้อนแฝง หรือ ดูดความร้อนแฝง
- คาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2) มีอยู่ในอากาศเล็กน้อย 0.038 % และสะสมในมหาสมุทร ประมาณ 50 เท่า ในบรรยากาศเป็นก๊าซเรือนกระจกทำให้โลกร้อน







- ก๊าซมีเทน ไนตรัสออกไซด์และคลอโรฟลูออไรด์คาร์บอน สะสมอยู่ในบรรยากาศ เช่นกัน
- โอโซน (O_2) เป็นสารที่พบในระดับต่ำผิวโลกและระดับสูงในบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์ซึ่งช่วยป้องกันรังสีอุลตร้าไวโอเลตจากดวงอาทิตย์



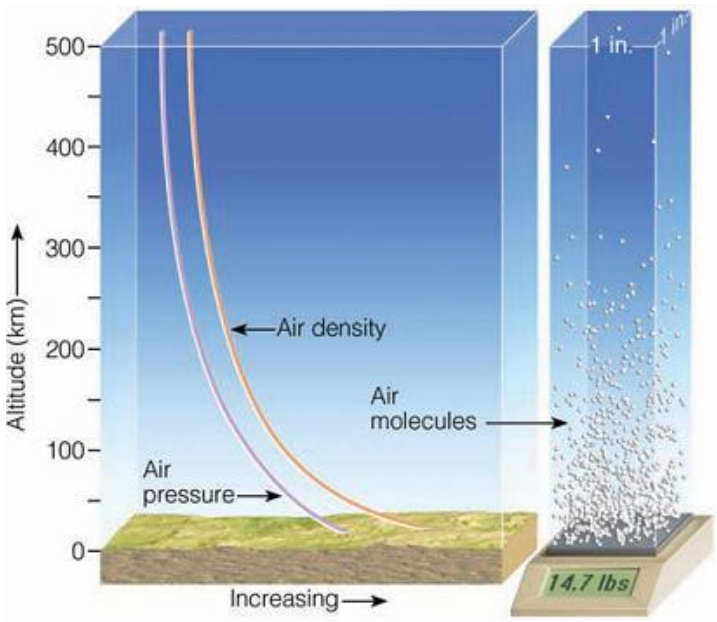
- อนุภาคในบรรยากาศ (aerosol) ผงฝุ่น ผงเกลือ ควัน เถ้าภูเขาไฟ เป็นแกนกลางในการกลั่นตัวและการเกิดมลภาวะในบรรยากาศ

	DIAMETER	AVERAGE DISTANCE FROM SUN	AVERAGE SURFACE TEMPERATURE		MAIN ATMOSPHERIC COMPONENTS
	Kilometers	Millions of Kilometers	°C	°F	
Sun	$1{,}392 \times 10^3$		5,800	10,500	—
Mercury	4,880	58	260*	500	—
Venus	12,112	108	480	900	CO_2
Earth	12,742	150	15	59	N_2, O_2
Mars	6,800	228	−60	−76	CO_2
Jupiter	143,000	778	−110	−166	H_2, He
Saturn	121,000	1,427	−190	−310	H_2, He
Uranus	51,800	2,869	−215	−355	H_2, CH_4
Neptune	49,000	4,498	−225	−373	N_2, CH_4
Pluto	3,100	5,900	−235	−391	CH_4

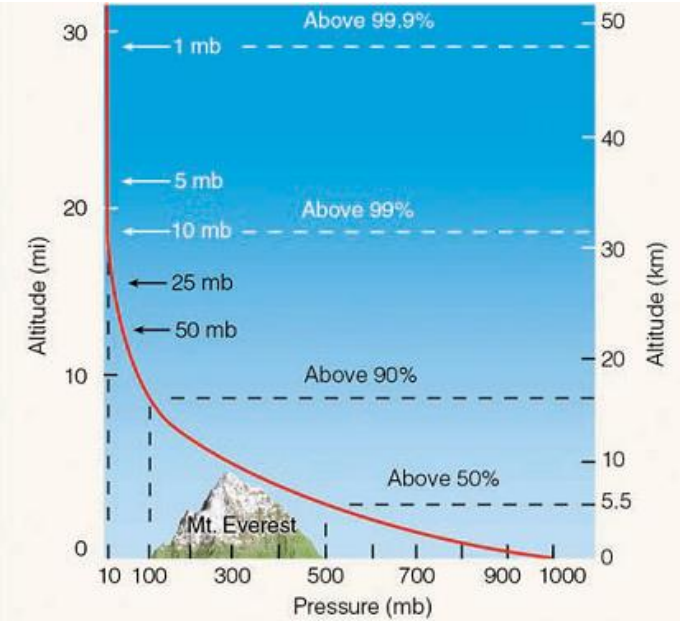
*Sunlit side.

1.3 โครงสร้างของบรรยากาศ

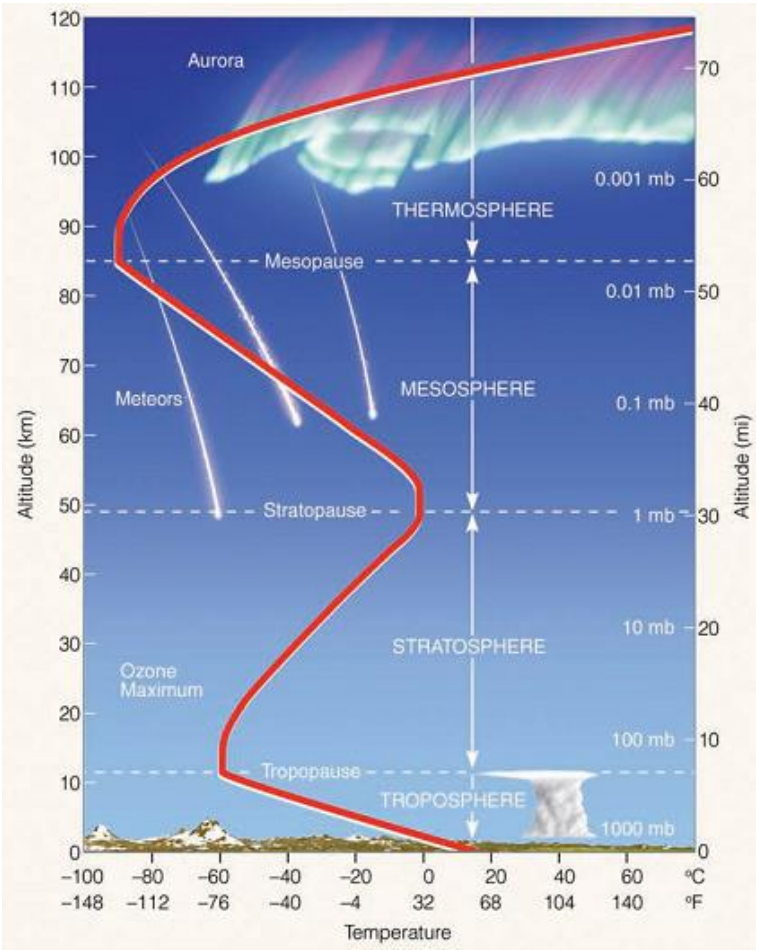
- บางตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่วนประกอบของก๊าซ คุณสมบัติของประจุไฟฟ้า
- น้ำหนัก = มวล × แรงดึงดูดของโลก
- ความหนาแน่น = $\frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาณ}}$
- ความดัน = $\frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่}}$ ความดันมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- หน่วยความดัน mb , hPa



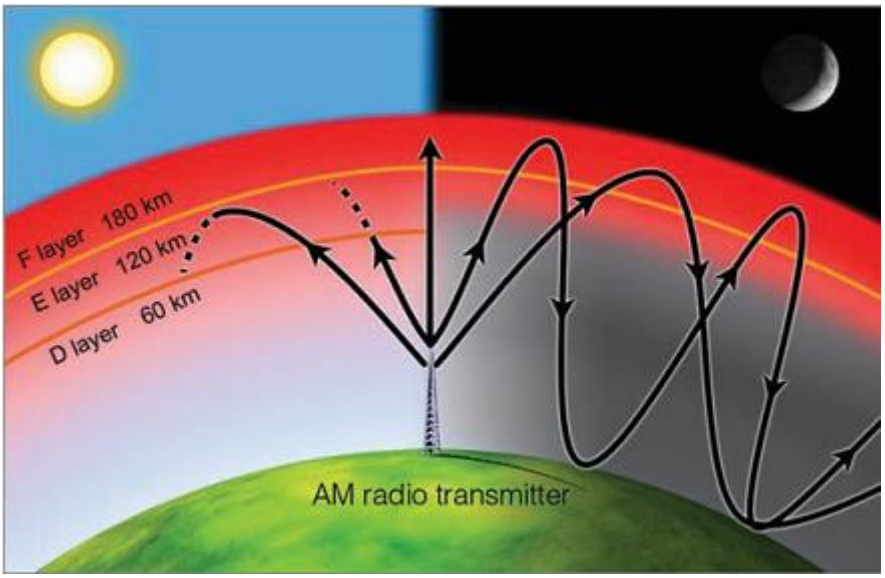
- ความกดบรรยากาศมาตรฐานที่ระดับน้ำทะเล 1013.25 hPa , 29.92 in.Hg
- ความดันของบรรยากาศ คือ แรงกระทำต่อพื้นผิวขนาด 1 ตารางหน่วย ความดันบรรยากาศลดลงเมื่อสูงขึ้นไปในบรรยากาศ และเพิ่มขึ้นเมื่อต่ำลงมา



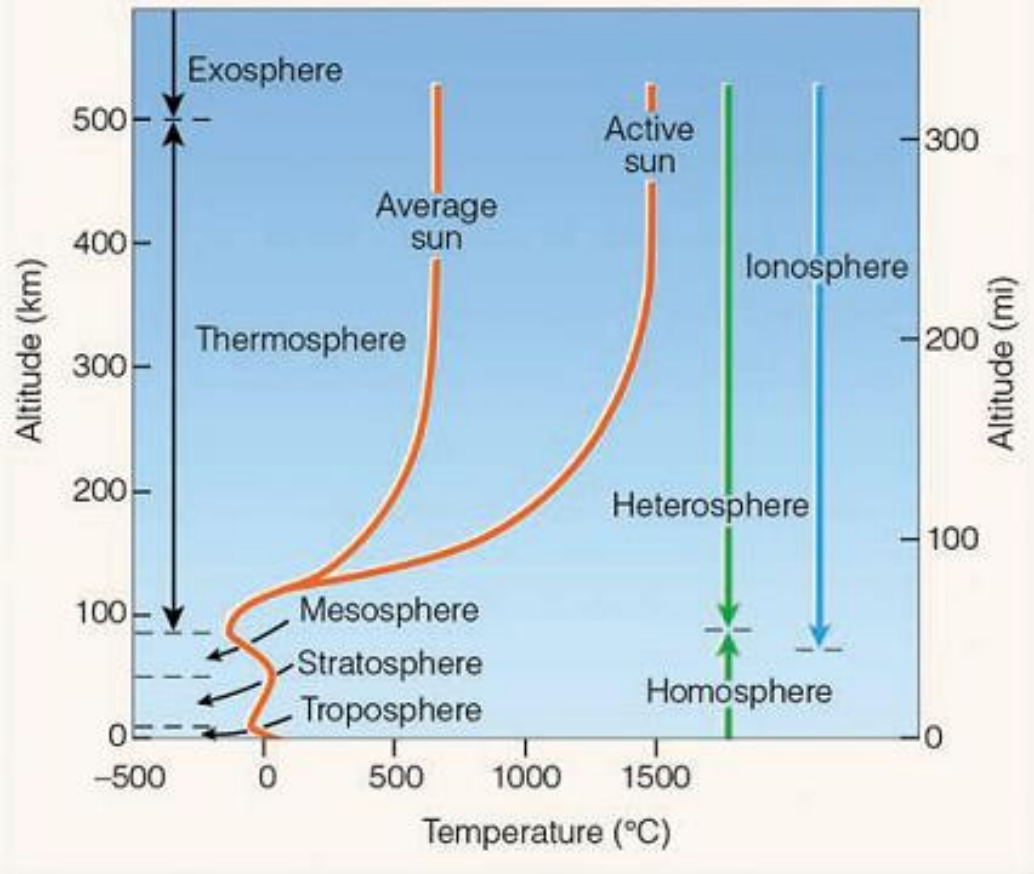
- บรรยากาศชั้นโทรโมสเฟียร์ อุณหภูมิลดลงตามความสูง Lapse rate (2%/ 1,000ฟุต)
- ชั้นโทรโพพอส อุณหภูมิคงที่ Isothermal มักเกิด Jet stream บริเวณนี้
- บรรยากาศชั้น Mesosphere อุณหภูมิลดลงตามความสูง
- บรรยากาศชั้น Thermosphere อุณหภูมิเพิ่มตามความสูงเลยออกไปเรียก Exosphere



- Ionosphere เป็นชั้นประจุไฟฟ้าในบรรยากาศประกอบด้วย D, E , F



- Homosphere โมเลกุลอากาศ อยู่ใกล้กัน Heterosphere โมเลกุลอากาศอยู่ห่างกัน

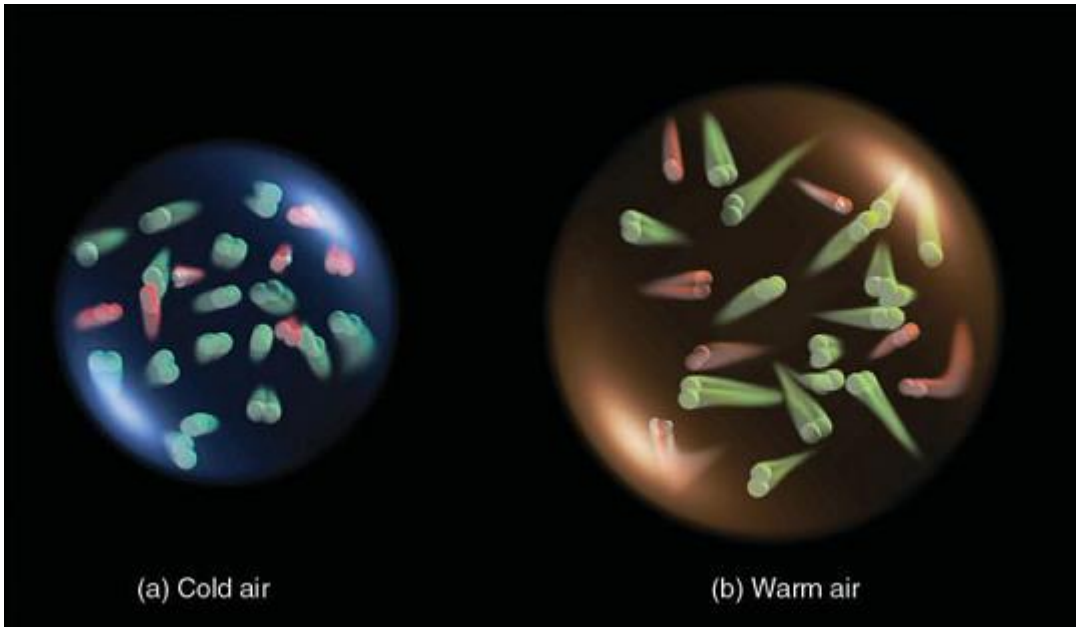


****

บทที่ 2
ความร้อน

1.1 พลังงาน (Energy)

- ความสามารถในการทำงานของวัตถุในอากาศ



- พลังงานศักย์ (Potential Energy : PE) เป็นพลังงานที่สะสมในวัตถุ

  PE = mgh (m = มวล , g = แรงดึงดูดของโลก , h = ความสูง)

- พลังงานจลน์ (Kinetic Energy : KE) เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

  $KE = \frac{1}{2}mv^2$ (m = มวล , v = ความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ)

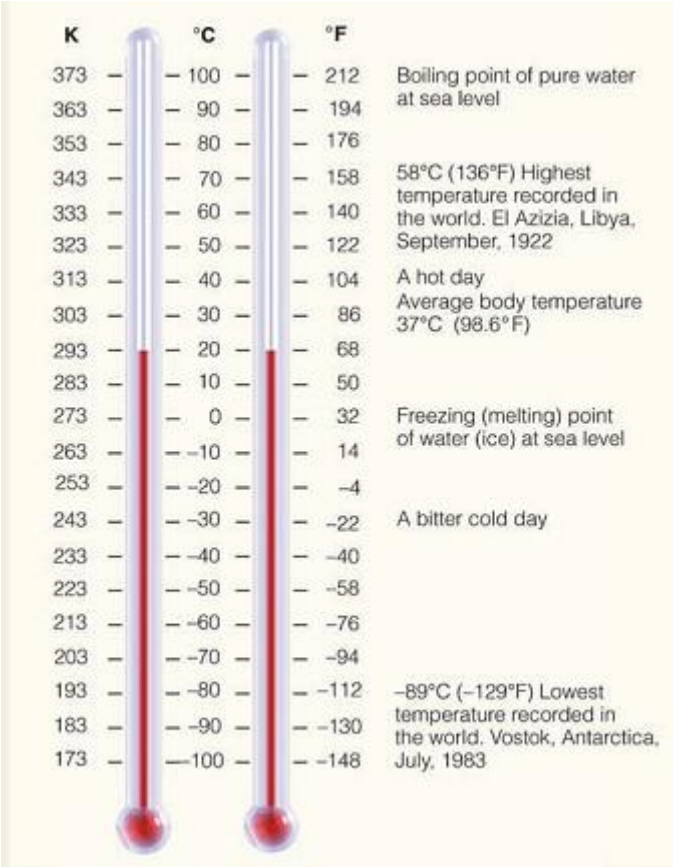
- พลังงานภายใน หมายถึงพลังงานศักย์รวมกับพลังงานจลน์ในวัตถุ

1.2 อุณหภูมิ (Heat)

- พลังงานที่ส่งผ่านจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง อันเป็นผลมาจากการแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างวัตถุ
- ถ่ายเทพลังงานความร้อนมี 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน
- สเกลของอุณหภูมิ เซลเซียส ฟาเรนไฮต์ เคลวิน หรือ องศาสมบูรณ์
- ศูนย์องศาสมบูรณ์ หมายถึง อะตอมและโมเลกุลจะมีจำนวนพลังงานต่ำสุด ซึ่งไม่สามารถทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้

$°C = \frac{5}{9}(°F - 32)$

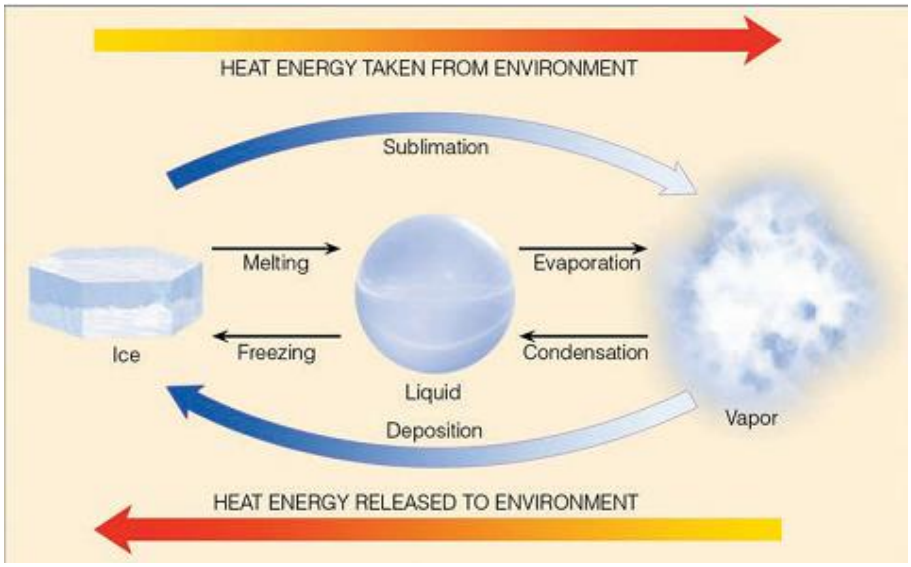
$°K = °C + 273$



- ความร้อนจำเพาะจำนวนความร้อนที่ทำให้วัตถุ น้ำหนัก 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

SUBSTANCE	SPECIFIC HEAT (Cal/g × °C)	J/(kg × °C)
Water (pure)	1.00	4186
Wet mud	0.60	2512
Ice (0°C)	0.50	2093
Sandy clay	0.33	1381
Dry air (sea level)	0.24	1005
Quartz sand	0.19	795
Granite	0.19	794

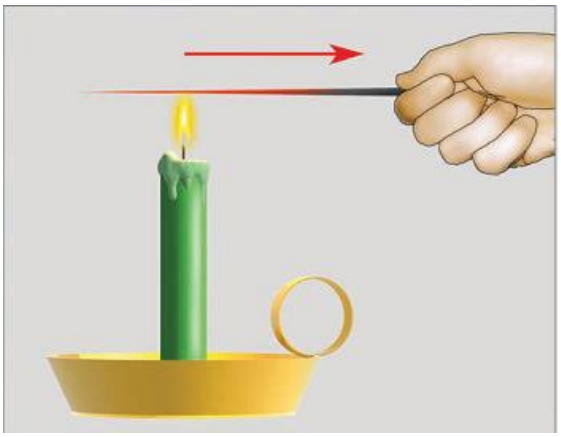
- ความร้อนแฝง (Latent heat) คือ พลังงานความร้อนที่ต้องการเปลี่ยนสถานะสสารจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง
- ความร้อนแฝงการระเหย 600 แคลอรี่/กรัม ความร้อนแฝงการละลาย 80 แคลอรี่/กรัม



- ความร้อนสัมผัส (Sensible heat) พลังงานความร้อนที่รู้สึกและสามารถวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ได้

1.3 การส่งผ่านความร้อนในบรรยากาศ

- การนำความร้อน อาศัยตัวกลางที่ติดกันส่งผ่านความร้อน จากร้อนไปเย็น

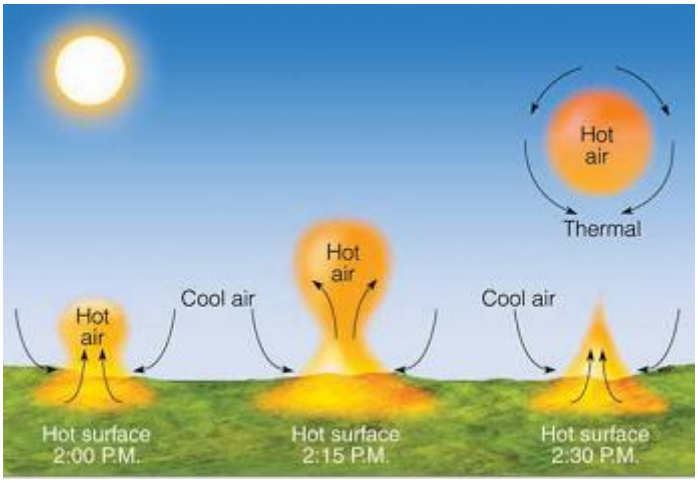


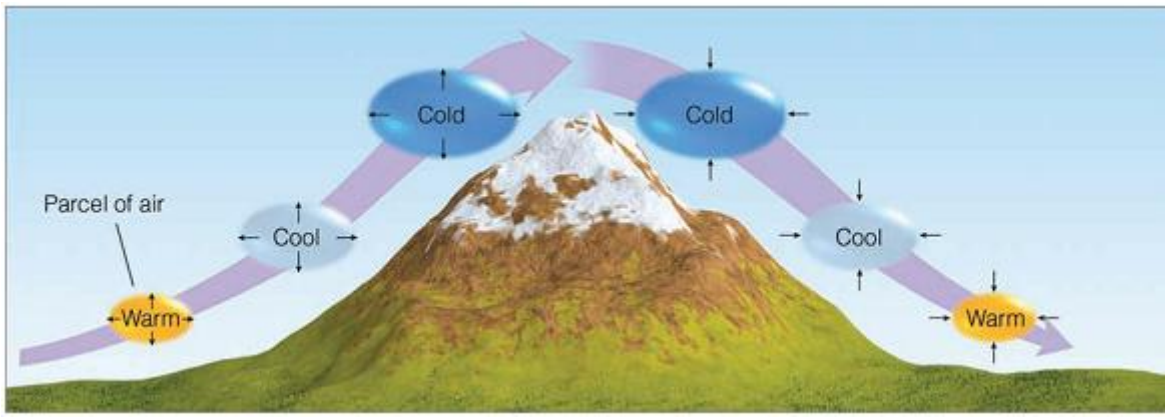
SUBSTANCE	HEAT CONDUCTIVITY (Watts† per meter per °C)
Still air	0.023 (at 20°C)
Wood	0.08
Dry soil	0.25
Water	0.60 (at 20°C)
Snow	0.63
Wet soil	2.1
Ice	2.1
Sandstone	2.6
Granite	2.7
Iron	80
Silver	427

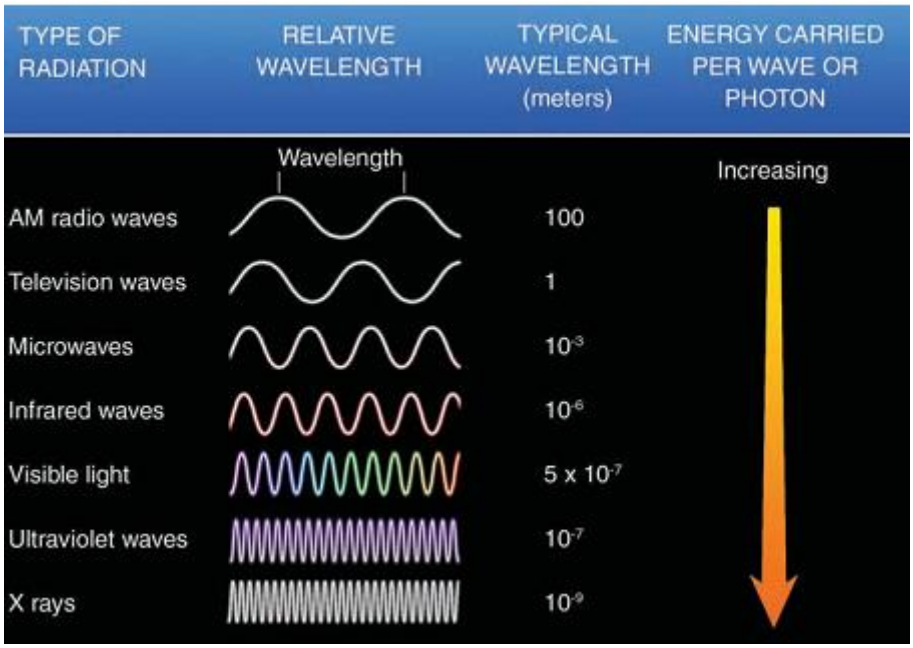
*Heat (thermal) conductivity describes a substance's ability to conduct heat as a consequence of molecular motion.

†A watt (W) is a unit of power where one watt equals one joule (J) per second (J/s). One joule equals 0.24 calories.

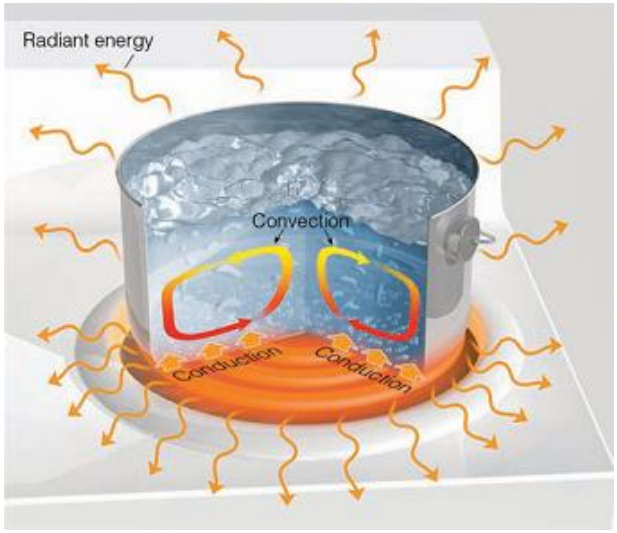
- การพาความร้อน การเคลื่อนที่ของไหลส่งผ่านความร้อน ประกอบด้วยการพาความร้อนทางระดับ และทางดิ่ง

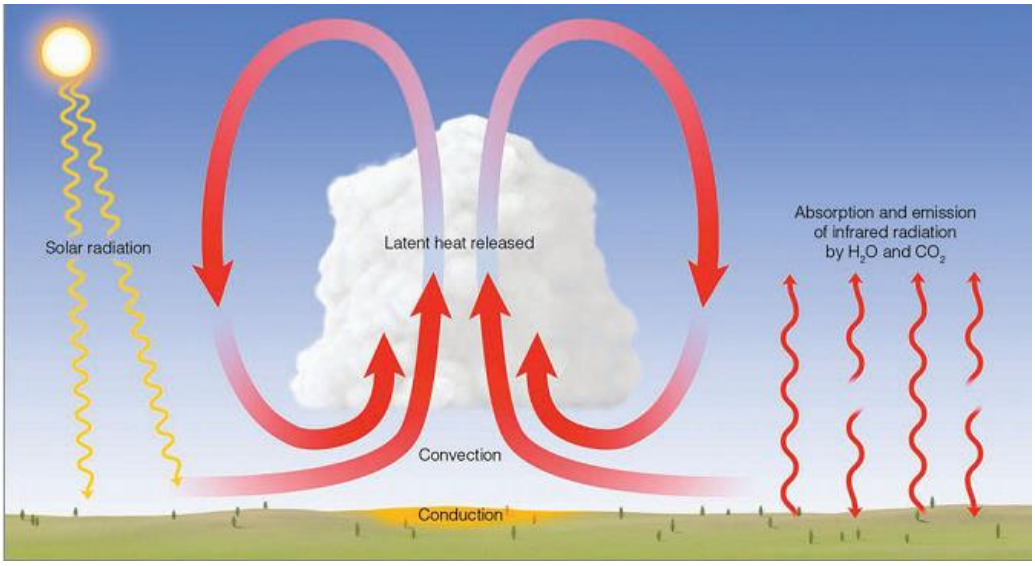




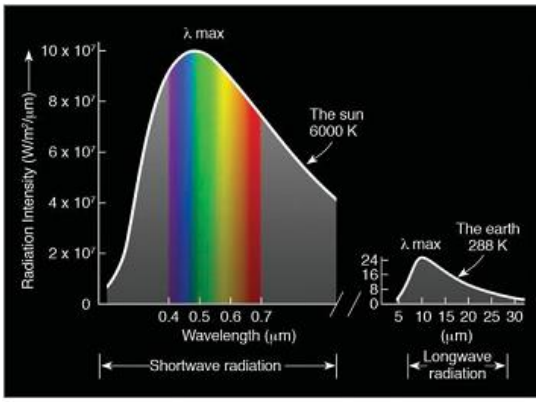


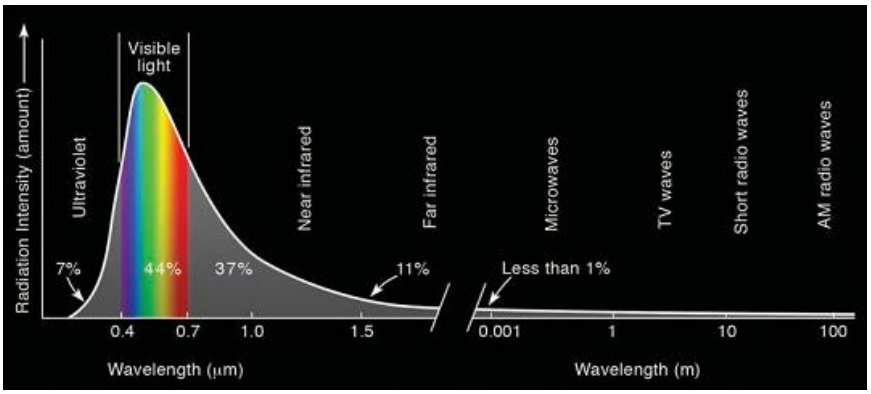
- การแผ่รังสีความร้อน การส่งผ่านความร้อนโดยไม่มีตัวกลาง



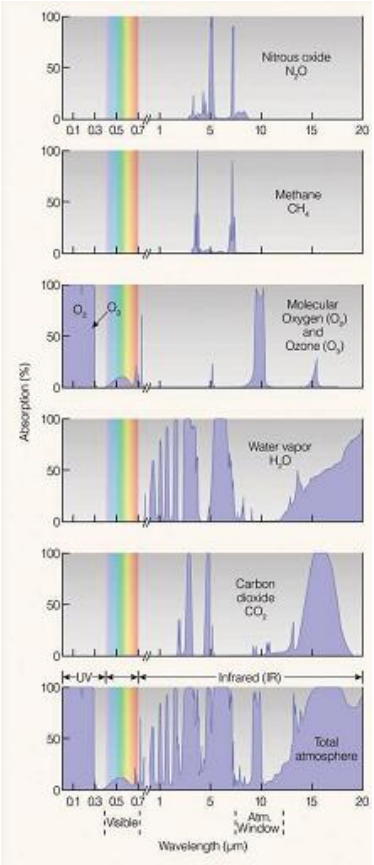


- คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลกประกอบด้วยหลายช่วงคลื่น



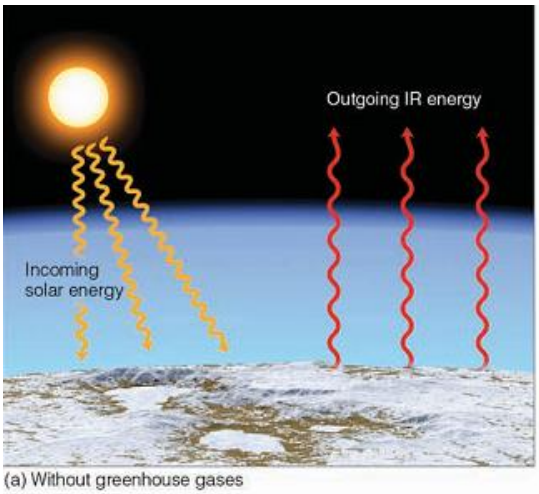


- หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Window) คือ ความยาวคลื่นที่โลกแผ่รังสีความร้อนออกไปสู่บรรยากาศ

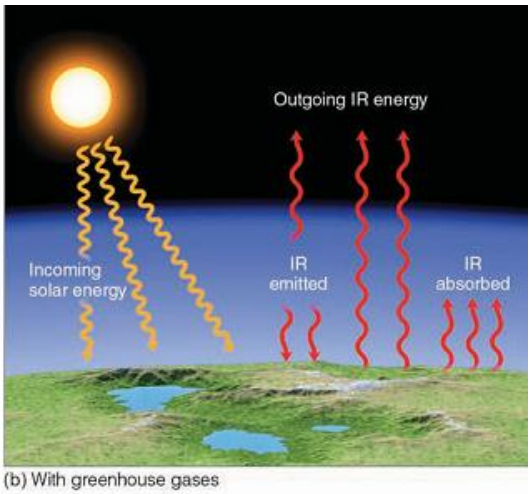


1.4 รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Incoming Solar Radiation)

- คลื่นสั้น พลังงานสูง และมีการชนกับบรรยากาศโลก
- คลื่นสั้นทำมุม ตั้งฉากกับพื้นดินมีค่า 1.367 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร เรียกว่า Solar Constant
- การกระจายของคลื่นสั้นเมื่อกระทบพื้นดิน เรียกว่า scattering
- การสะท้อนของคลื่นสั้นเมื่อกระทบพื้นดิน เรียกว่า Reflection
- เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนการสะท้อนของคลื่นสั้นต่อการกระทบบนผิวพื้น เรียกว่า Albedo

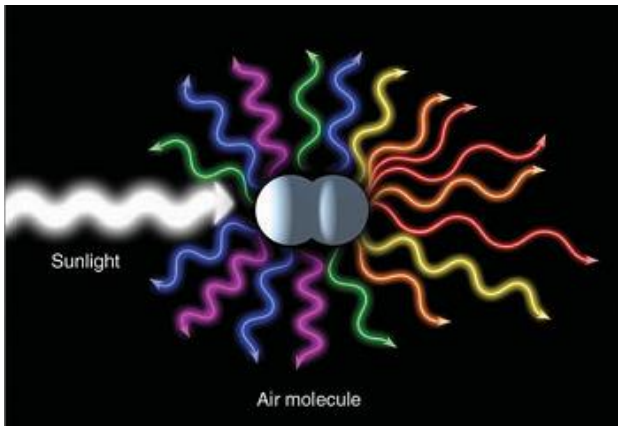


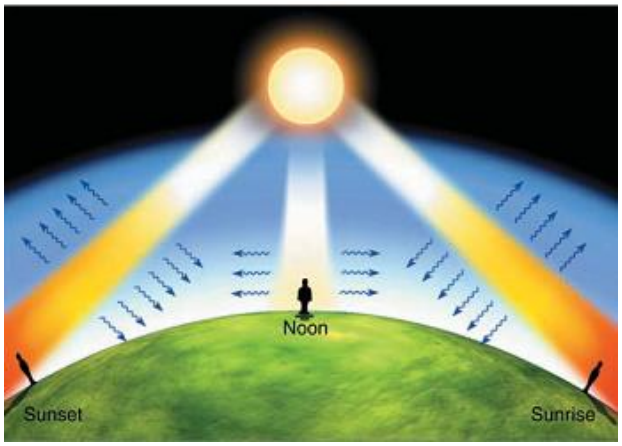
(a) Without greenhouse gases

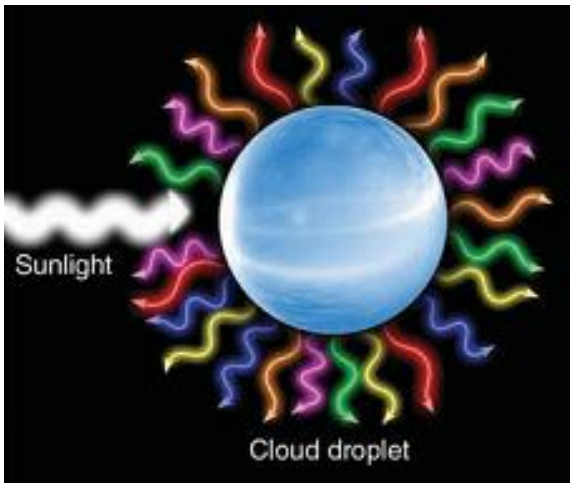


(b) With greenhouse gases

1.5 สมดุลพลังงานความร้อนของโลก

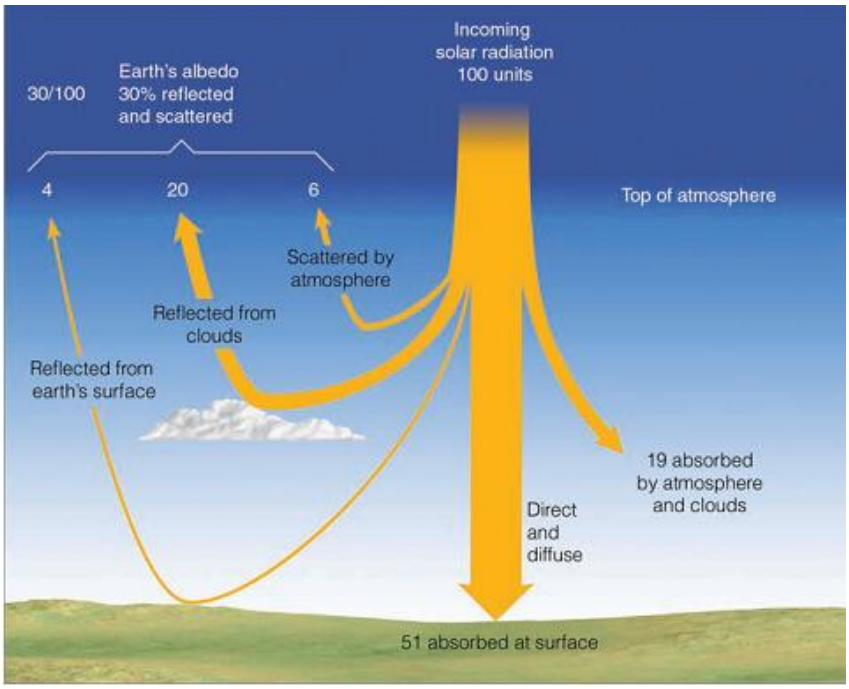


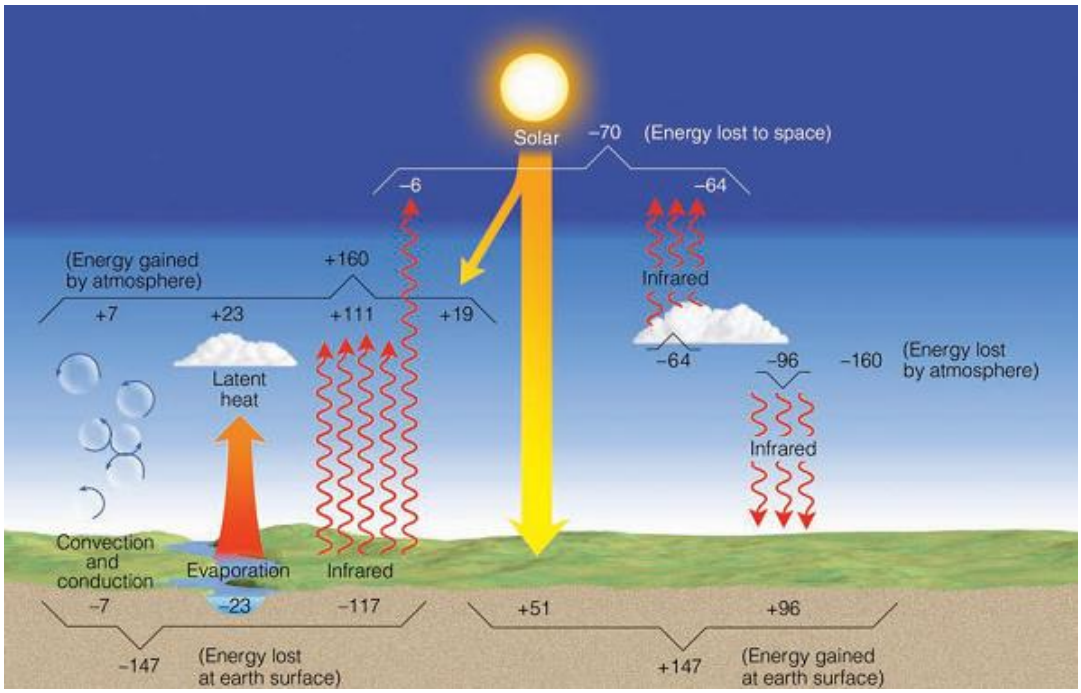


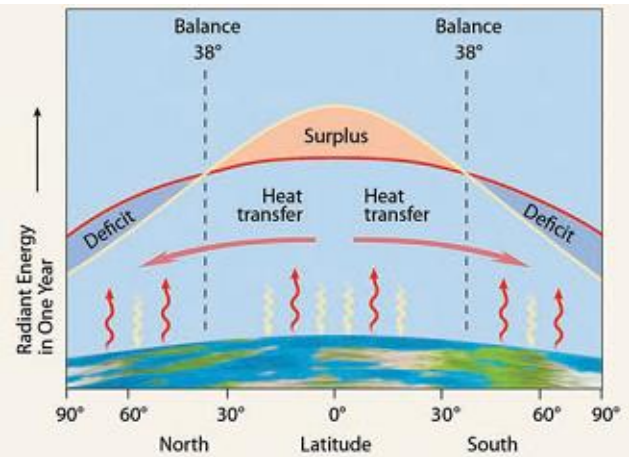


SURFACE	ALBEDO (PERCENT)
Fresh snow	75 to 95
Clouds (thick)	60 to 90
Clouds (thin)	30 to 50
Venus	78
Ice	30 to 40
Sand	15 to 45
Earth and atmosphere	30
Mars	17
Grassy field	10 to 30
Dry, plowed field	5 to 20
Water	10*
Forest	3 to 10
Moon	7

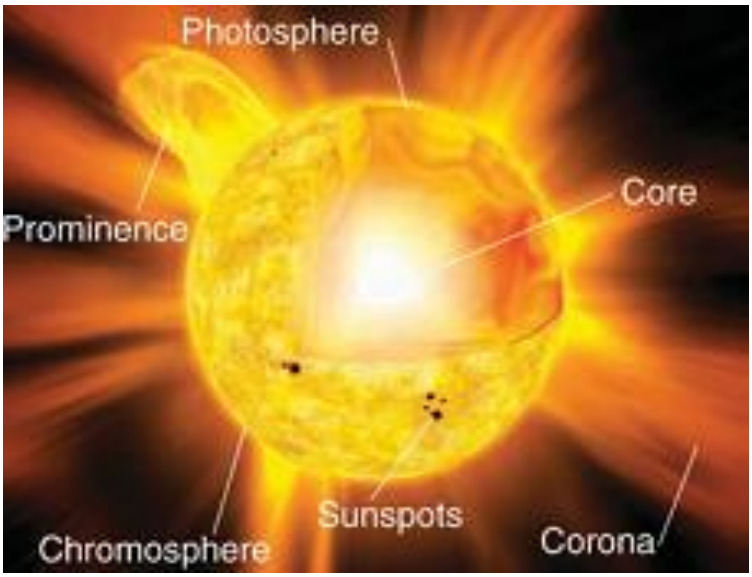
*Daily average.

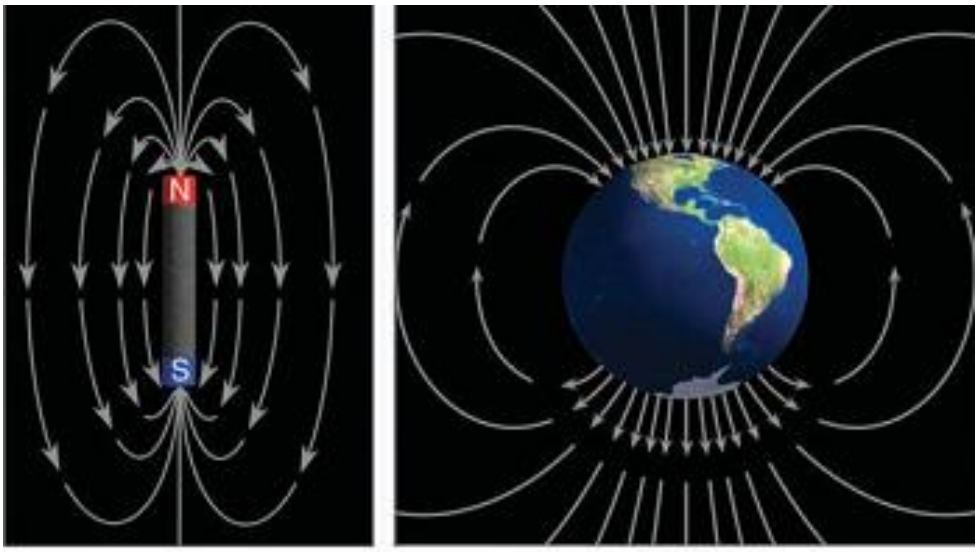

Incoming
solar radiation
100 units
Earth's albedo
30% reflected
and scattered
30/100
4
20
6
Top of atmosphere
Scattered by
atmosphere
Reflected from
clouds
Reflected from
earth's surface
19 absorbed
by atmosphere
and clouds
Direct
and
diffuse
51 absorbed at surface

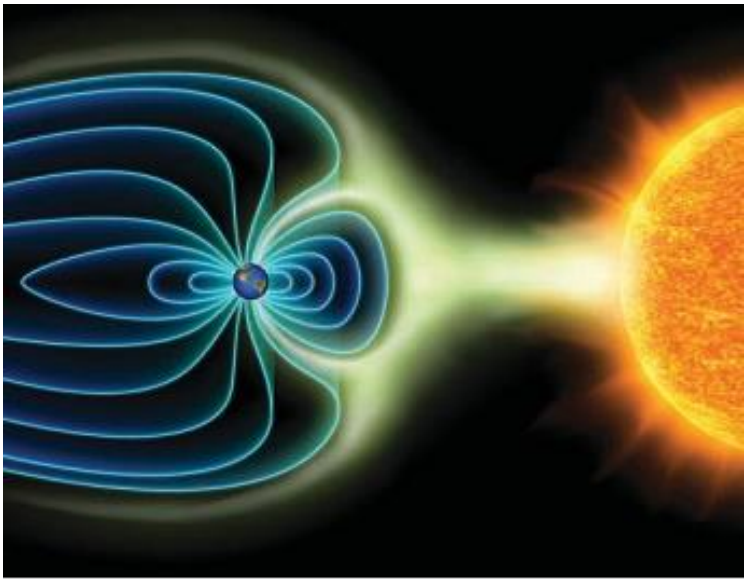

Solar
−70
(Energy lost to space)
−6
−64
(Energy gained
by atmosphere)
+160
+7
+23
+111
+19
Infrared
−64
−96
−160
(Energy lost
by atmosphere)
Latent
heat
Infrared
Convection
and
conduction
Evaporation
Infrared
−7
−23
−117
+51
+96
−147
(Energy lost
at earth surface)
+147
(Energy gained
at earth surface)

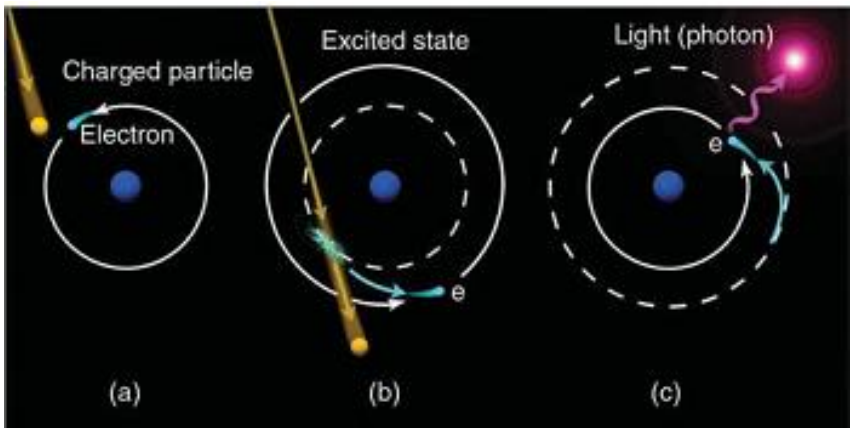

Balance
38°
Balance
38°
Surplus
Deficit
Heat
transfer
Heat
transfer
Deficit
Radiant Energy
in One Year
90°
60°
30°
0°
30°
60°
90°
North
Latitude
South

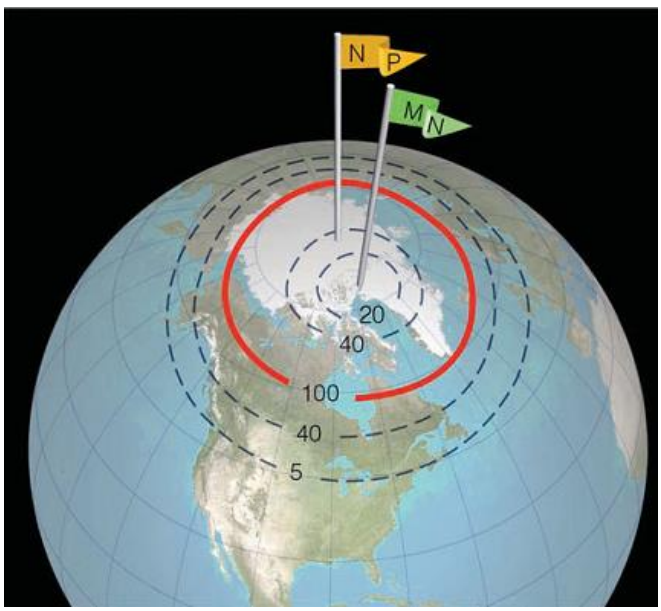
1.6 อนุภาคจากดวงอาทิตย์ และแสงเหนือแสงใต้








Charged particle
Electron
Excited state
e
Light (photon)
e
(a)
(b)
(c)

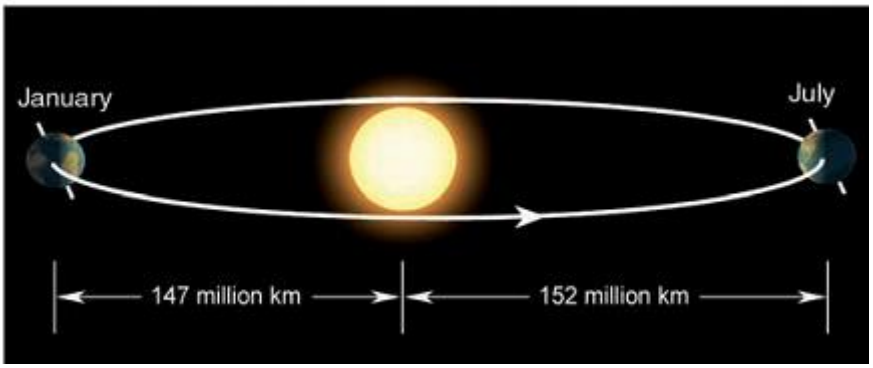

N
P
M
N
20
40
100
40
5

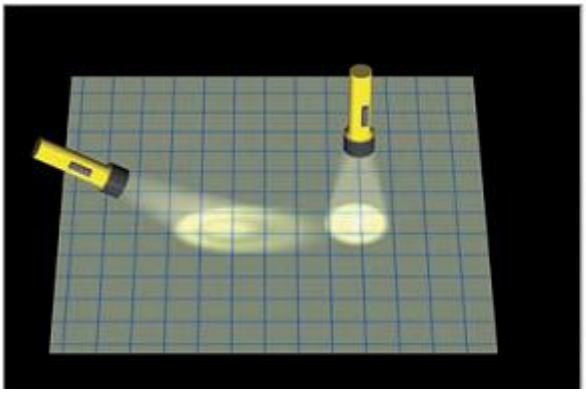
****

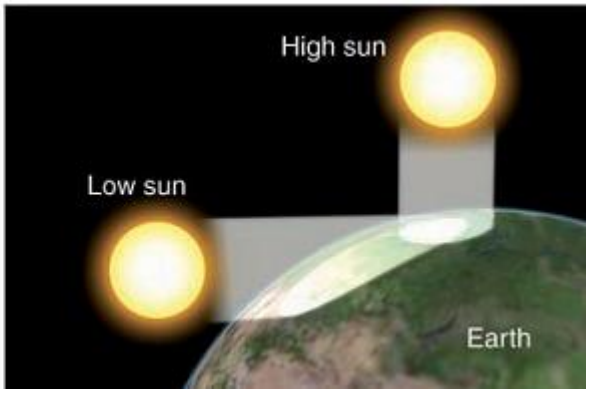
บทที่ 3
อุณหภูมิ

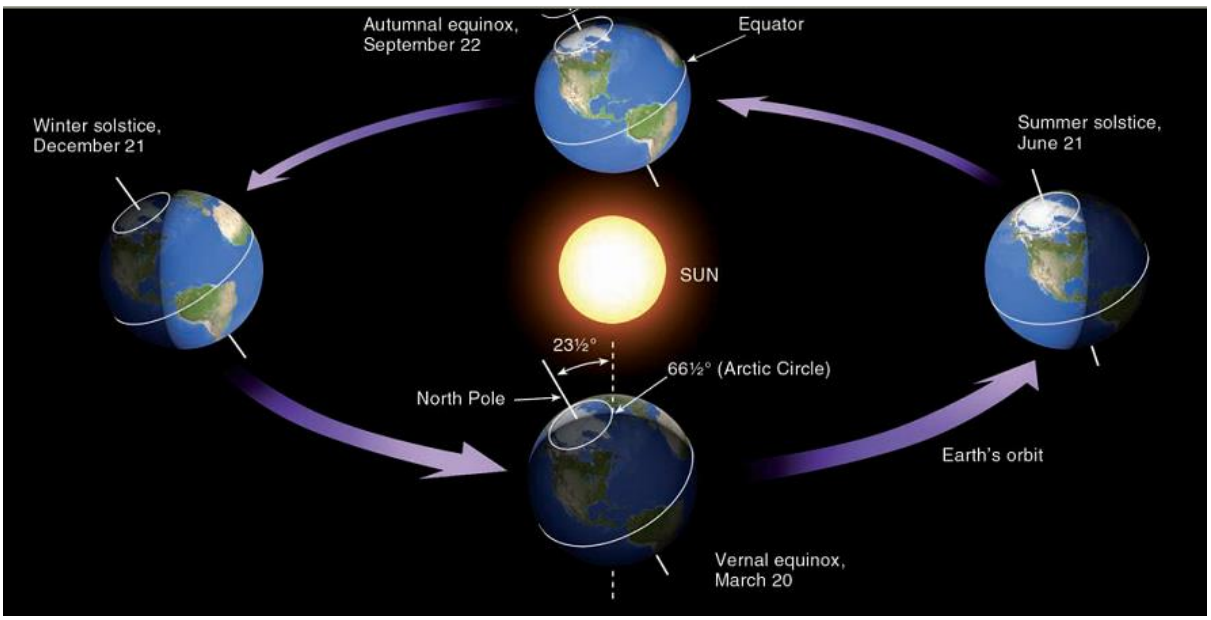
1.1 ฤดูกาล

- เกิดจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ รัศมี 150 ล้านกิโลเมตร (93 ล้านไมล์)

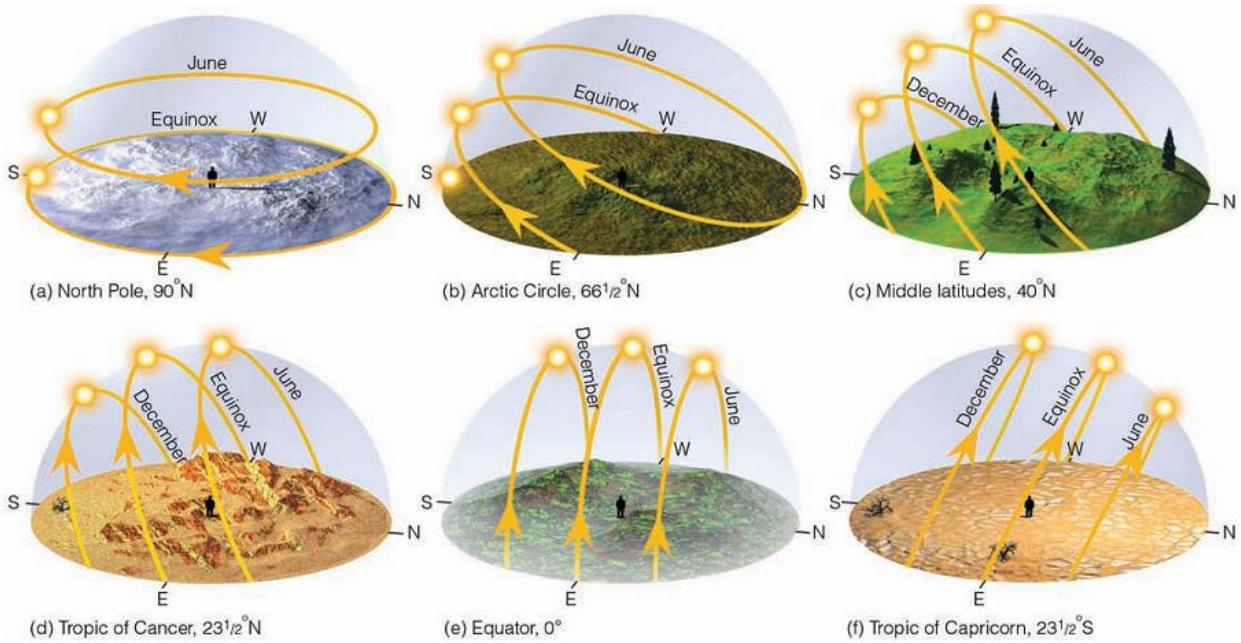


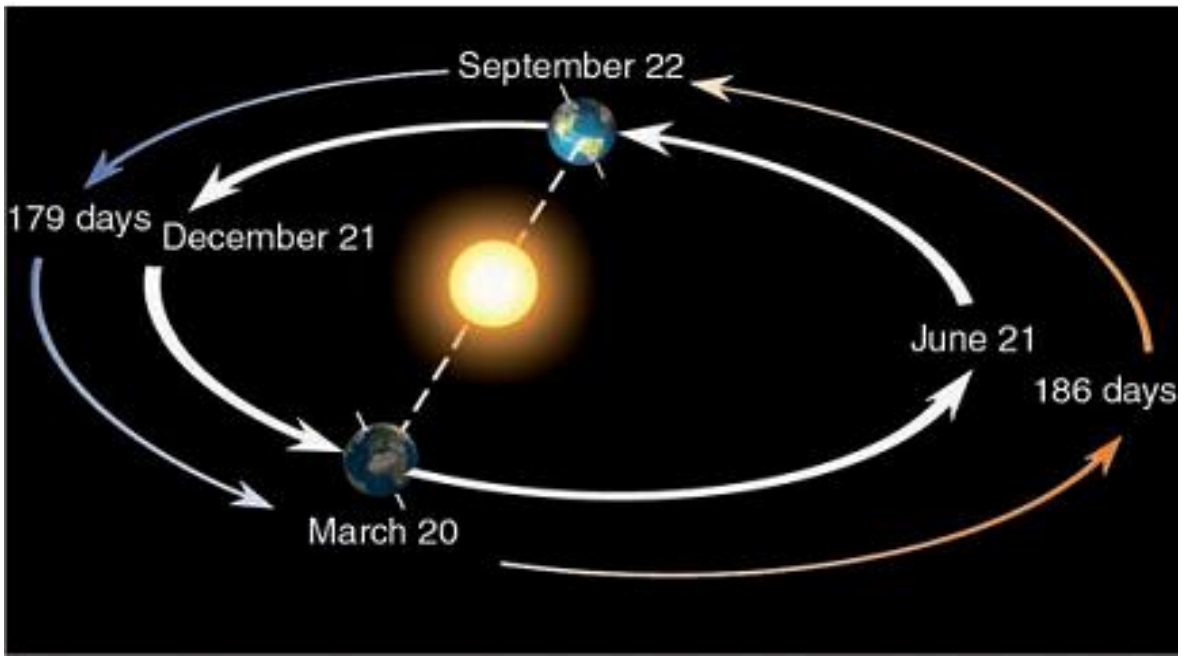






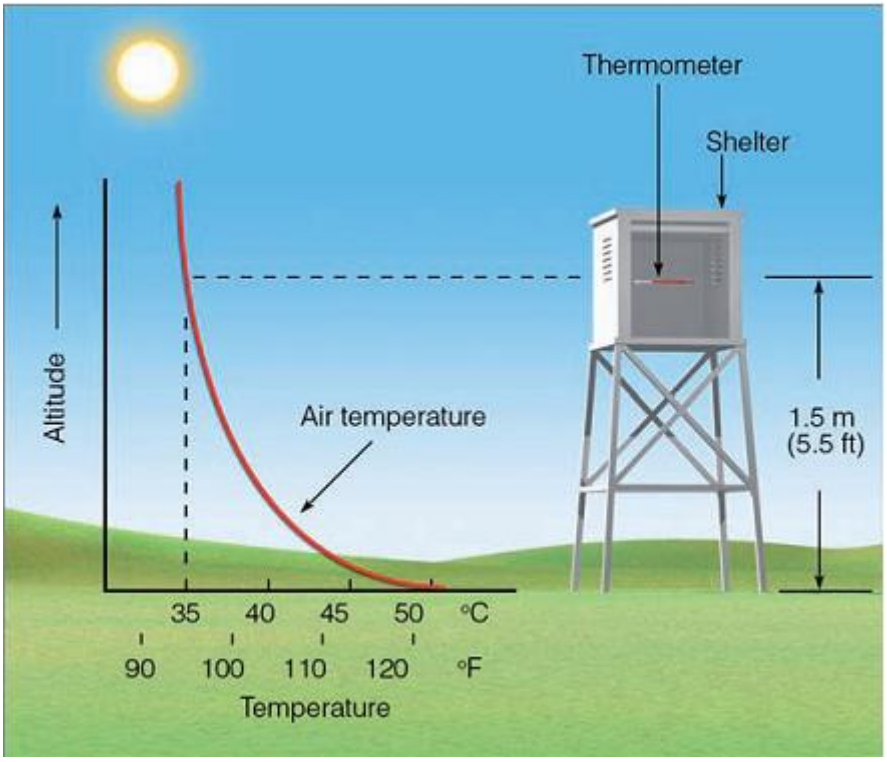
- Summer solstice : 21 June แสงจากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉาก ละติจูด 23.5°N เป็นวันเริ่มต้นฤดูร้อนในซีกโลกเหนือ
- Autumnal (fall) equinox : 22 September แสงจากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉาก equator เป็นวันเริ่มต้นฤดูไม้ใบร่วง
- Winter solstice : 21 December แสงจากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉาก ละติจูด 66.5°S เป็นวันเริ่มต้นฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ
- Vernal (spring) equinox : 20 March แสงจากดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉาก equator เป็นวันเริ่มต้นฤดูไม้ใบผลิ

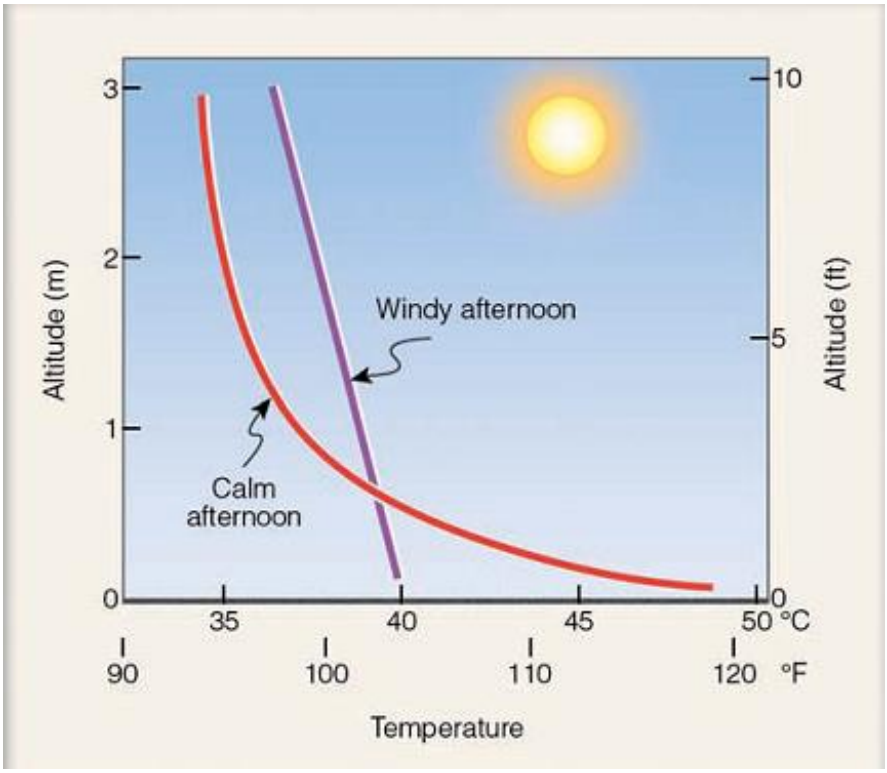


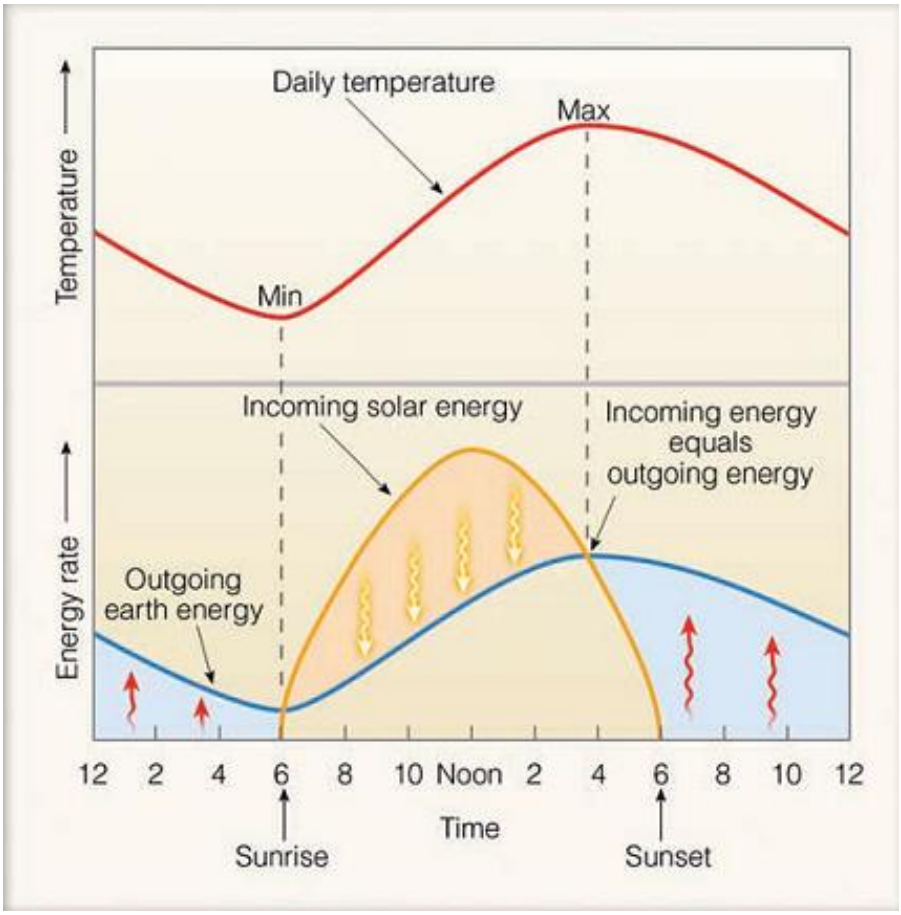


1.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวัน

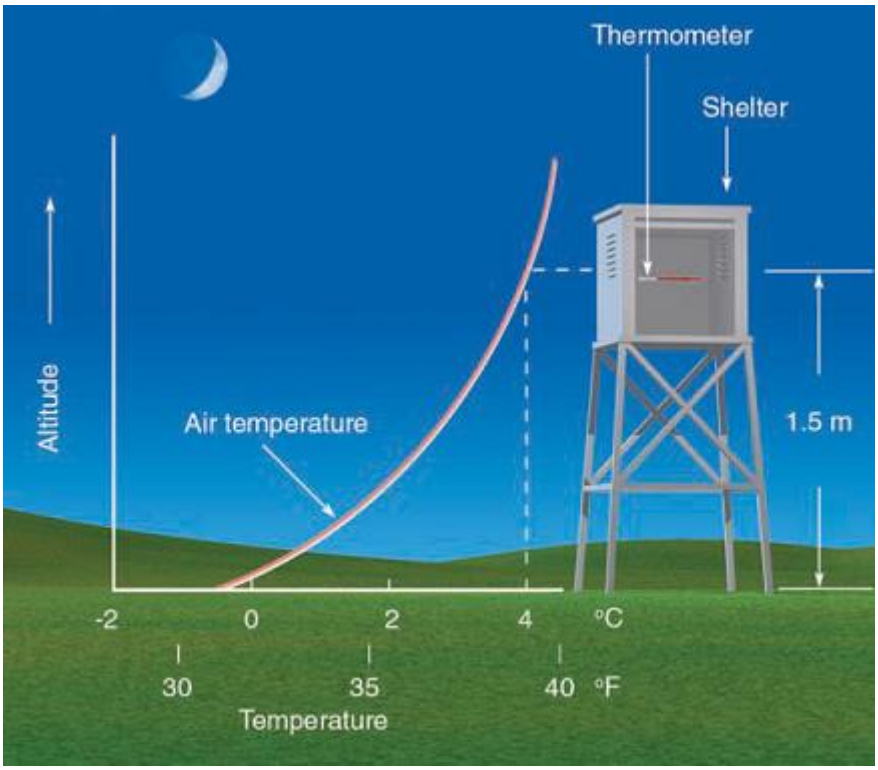
- เวลากลางวัน

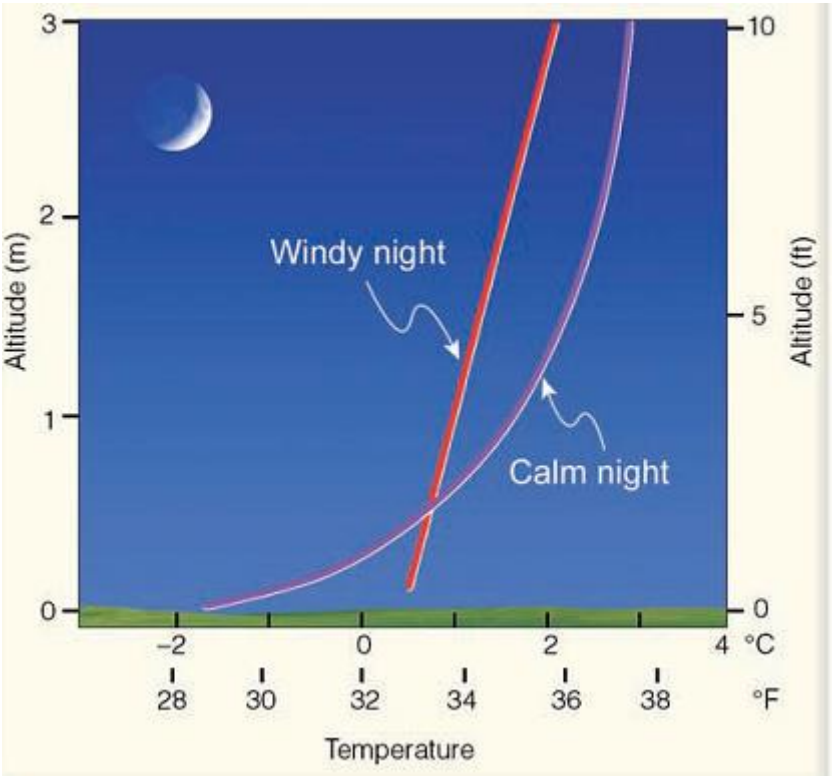


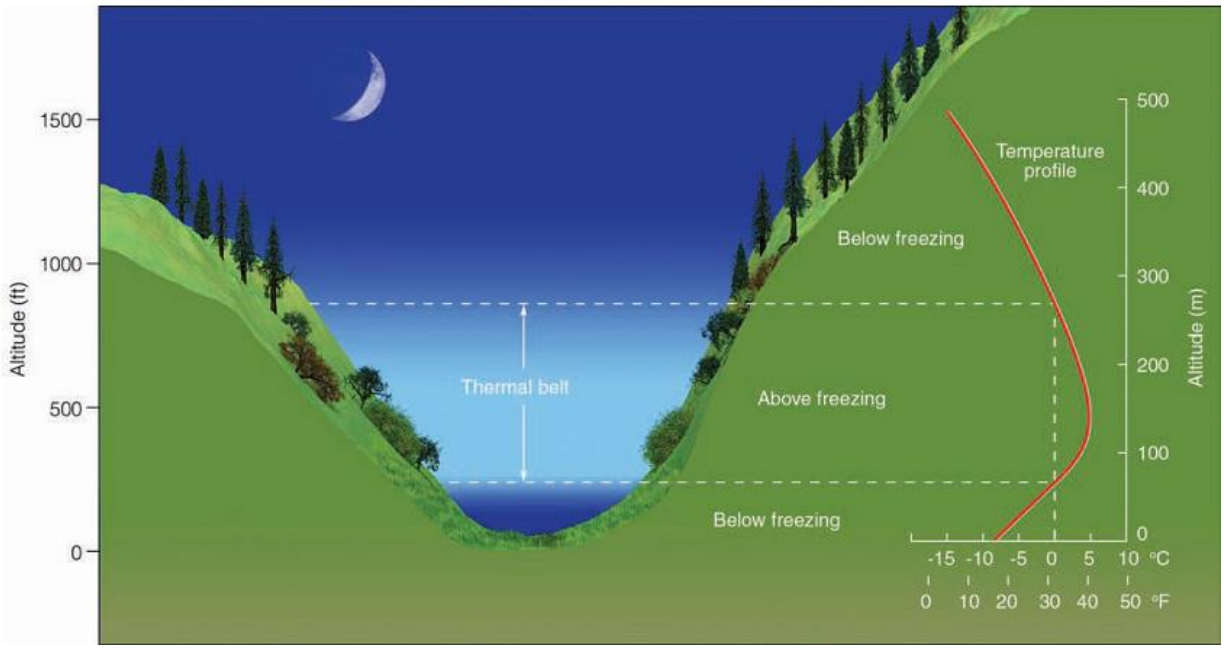



Temperature
Daily temperature
Max
Min
Energy rate
Incoming solar energy
Incoming energy equals outgoing energy
Outgoing earth energy
12 2 4 6 8 10 Noon 2 4 6 8 10 12
Time
Sunrise
Sunset

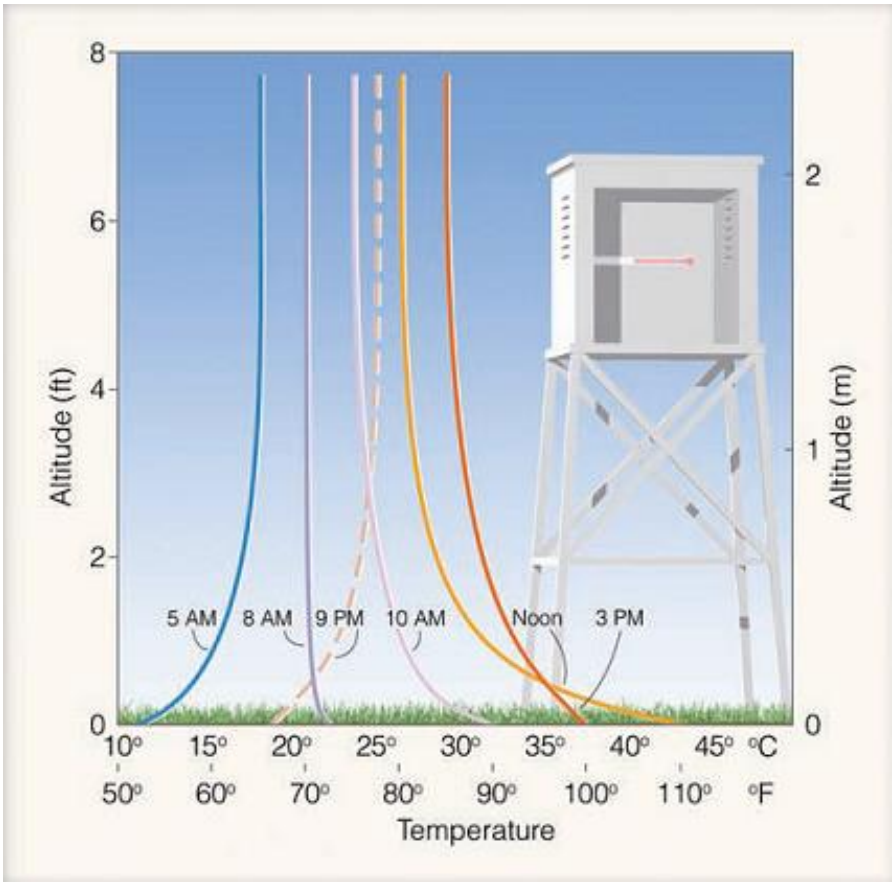
- เวลากลางคืน


Thermometer
Shelter
Altitude
Air temperature
1.5 m
-2 0 2 4 °C
30 35 40 °F
Temperature


Windy night
Calm night
Altitude (m)
Altitude (ft)
Temperature
°C
°F

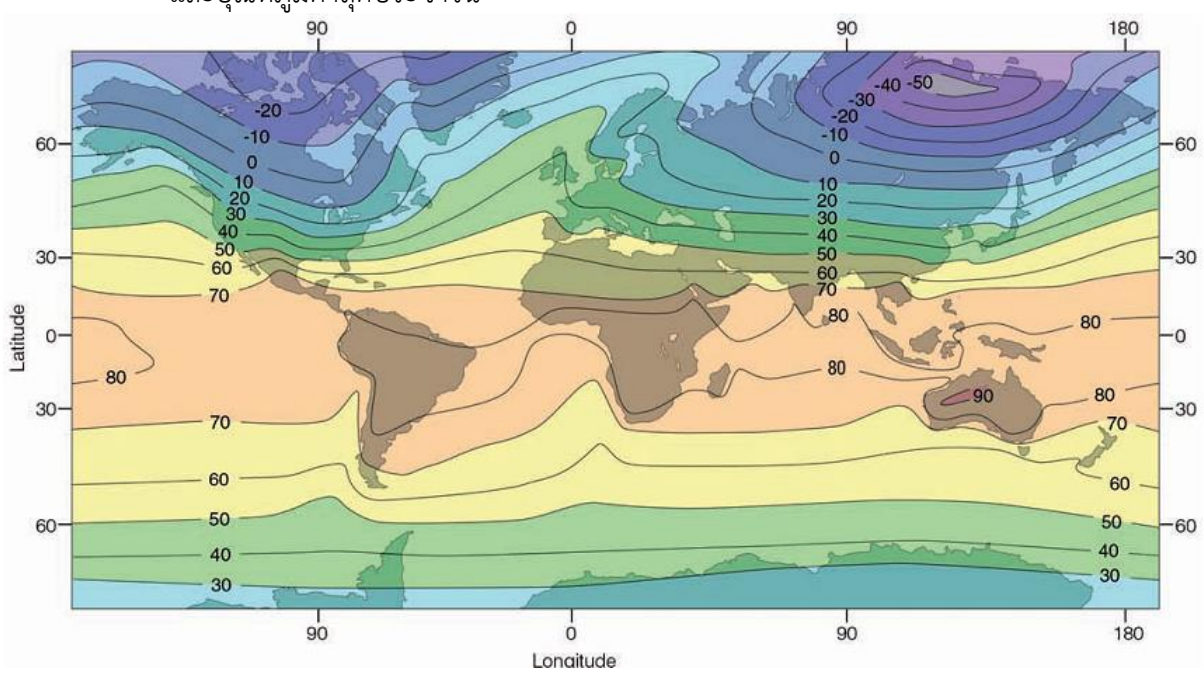

Temperature profile
Below freezing
Thermal belt
Above freezing
Below freezing
Altitude (ft)
Altitude (m)

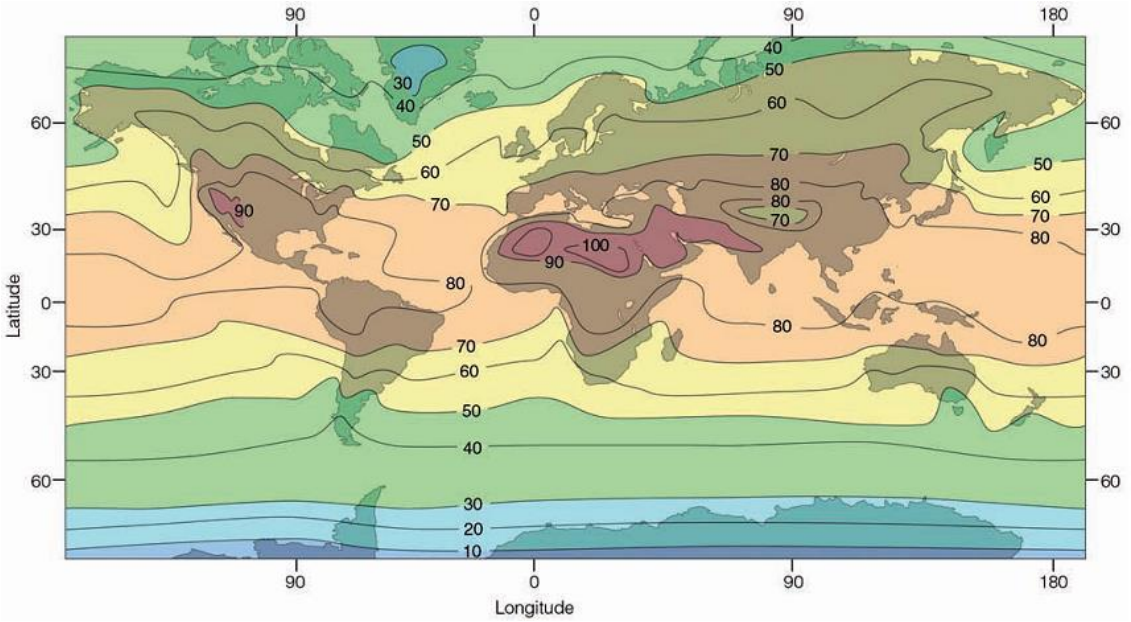
- อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตลอดวัน



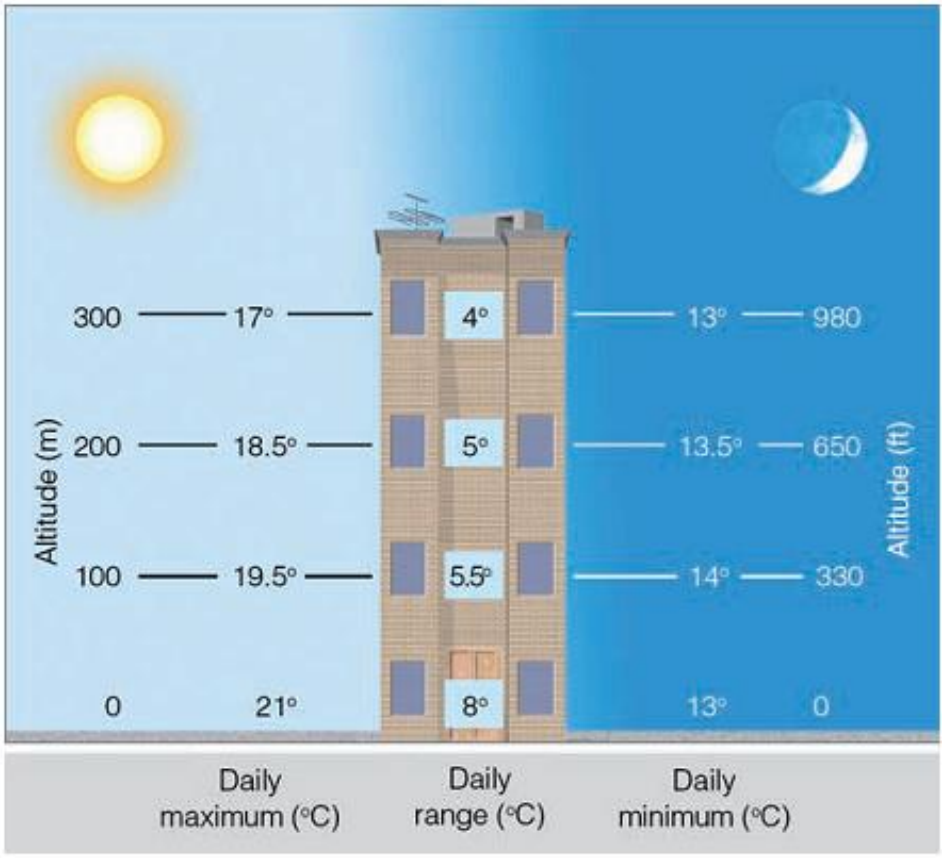
1.3 ปัจจัยควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

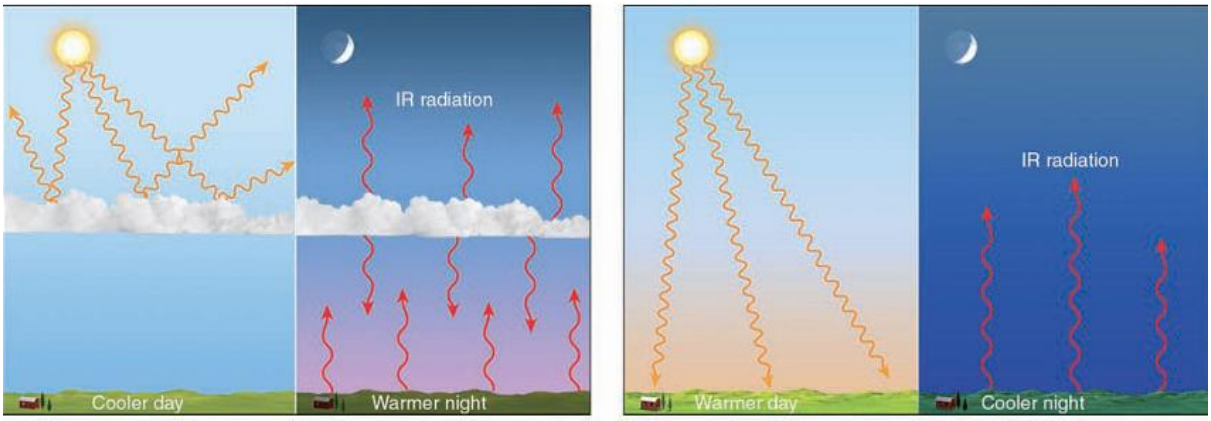
- ละติจูด การกระจายของพื้นดินและพื้นน้ำ ,กระแสน้ำในมหาสมุทร ,ความสูง
- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิประจำวัน (diurnal variation) คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดประจำวัน





- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทางดิ่ง





(a) Small daily temperature range (b) Large daily temperature range

1.4 สภาวะอุณหภูมิที่ส่งผลกระทบกับร่างกายมนุษย์ที่ได้รับผลกระทบจากอากาศหนาว

▼ TABLE 3.4 Wind-Chill Equivalent Temperature (°C)*

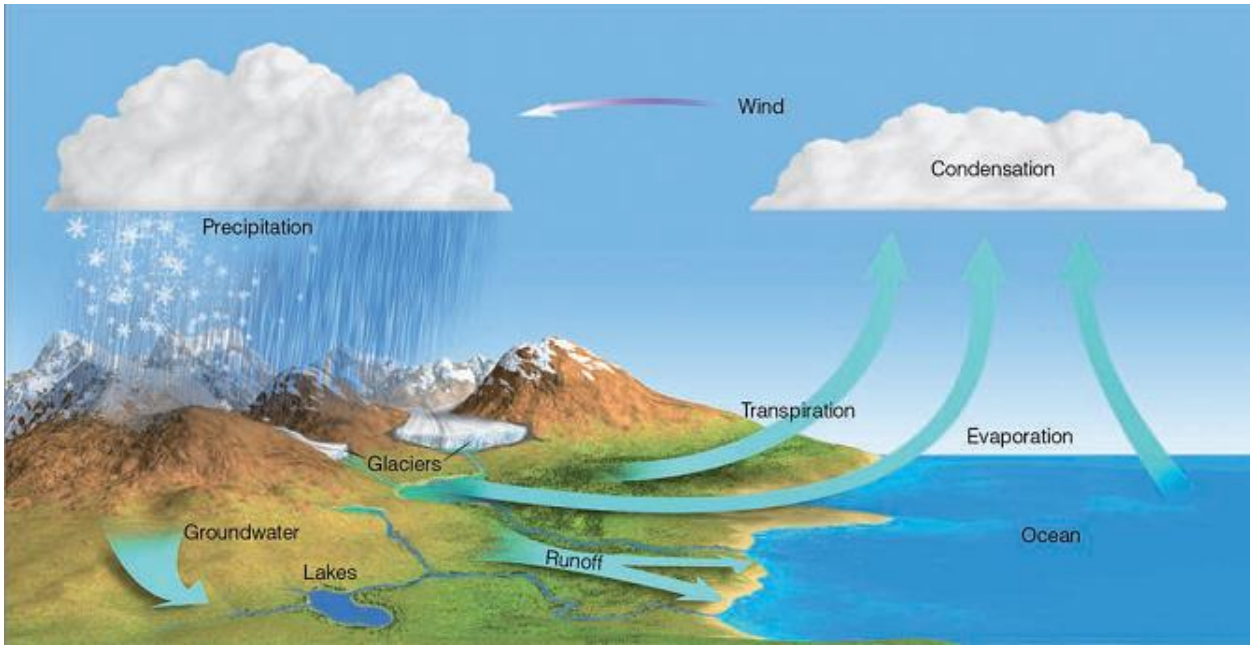
	AIR TEMPERATURE (°C)													
WIND SPEED (KM/HR)	Calm	10	5	0	−5	−10	−15	−20	−25	−30	−35	−40	−45	−50
	10	8.6	2.7	−3.3	−9.3	−15.3	−21.1	−27.2	−33.2	−39.2	−45.1	−51.1	−57.1	−63.0
	15	7.9	1.7	−4.4	−10.6	−16.7	−22.9	−29.1	−35.2	−41.4	−47.6	−51.6	−59.9	−66.1
	20	7.4	1.1	−5.2	−11.6	−17.9	−24.2	−30.5	−36.8	−43.1	−49.4	−55.7	−62.0	−68.3
	25	6.9	0.5	−5.9	−12.3	−18.8	−25.2	−31.6	−38.0	−44.5	−50.9	−57.3	−63.7	−70.2
	30	6.6	0.1	−6.5	−13.0	−19.5	−26.0	−32.6	−39.1	−45.6	−52.1	−58.7	−65.2	−71.7
	35	6.3	−0.4	−7.0	−13.6	−20.2	−26.8	−33.4	−40.0	−46.6	−53.2	−59.8	−66.4	−73.1
	40	6.0	−0.7	−7.4	−14.1	−20.8	−27.4	−34.1	−40.8	−47.5	−54.2	−60.9	−67.6	−74.2
	45	5.7	−1.0	−7.8	−14.5	−21.3	−28.0	−34.8	−41.5	−48.3	−55.1	−61.8	−68.6	−75.3
	50	5.5	−1.3	−8.1	−15.0	−21.8	−28.6	−35.4	−42.2	−49.0	−55.8	−62.7	−69.5	−76.3
	55	5.3	−1.6	−8.5	−15.3	−22.2	−29.1	−36.0	−42.8	−49.7	−56.6	−63.4	−70.3	−77.2
	60	5.1	−1.8	−8.8	−15.7	−22.6	−29.5	−36.5	−43.4	−50.3	−57.2	−64.2	−71.1	−78.0

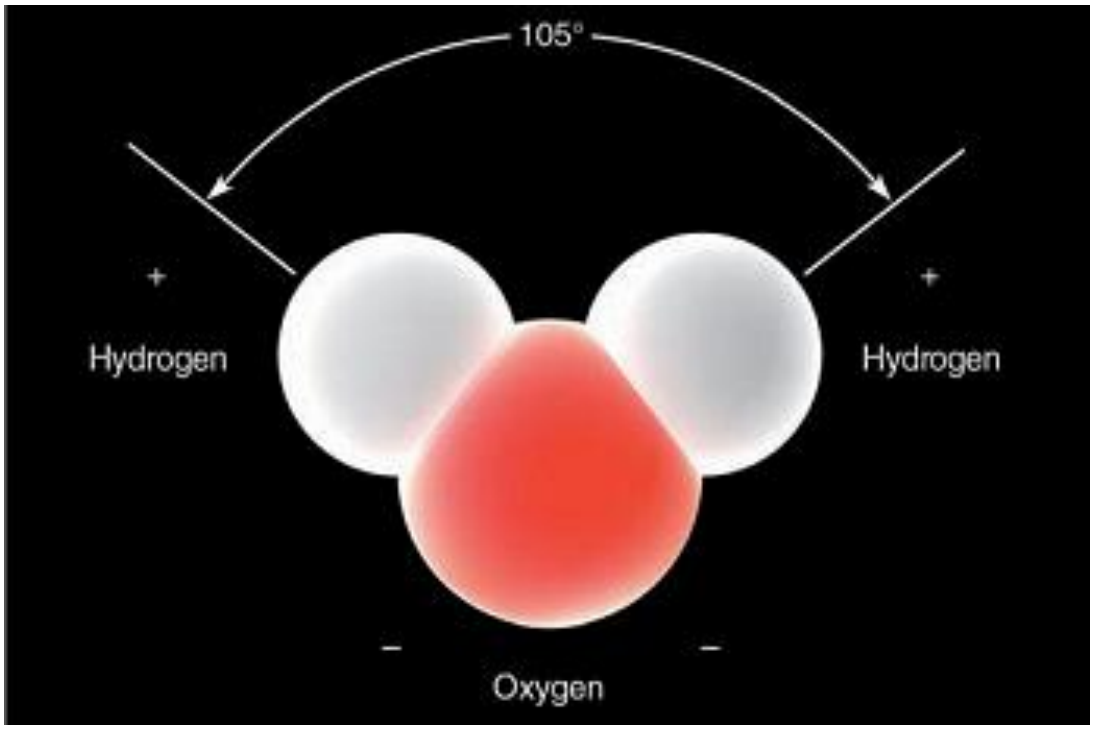
*Dark blue shaded areas represent conditions where frostbite occurs in 30 minutes or less.

****

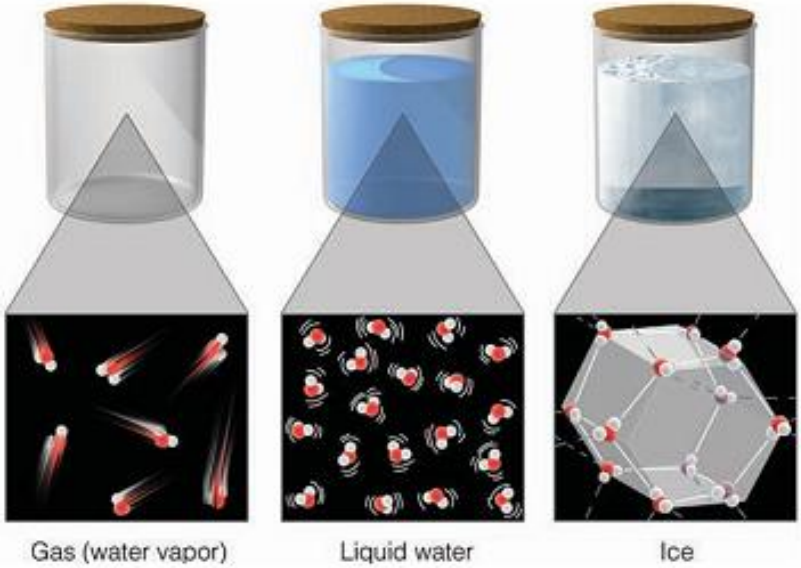
บทที่ 4
ความชื้น

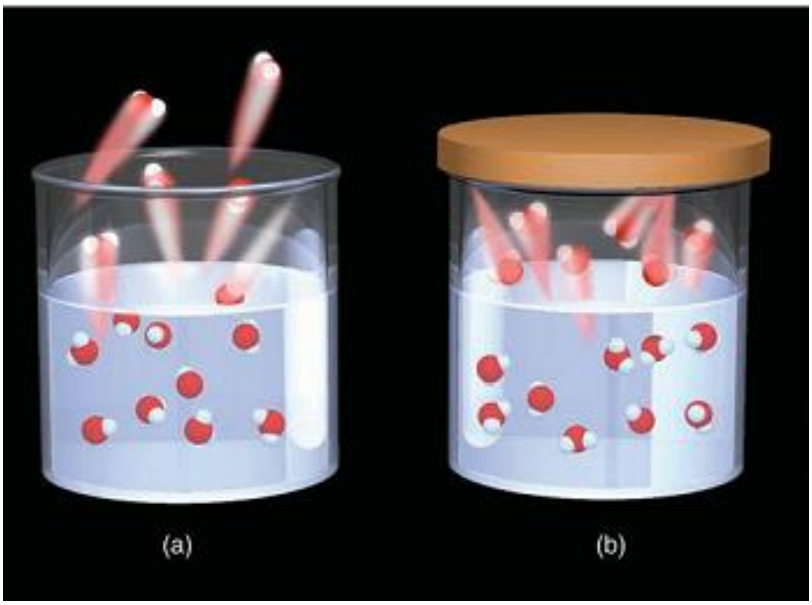
1.1 วัฏจักรของน้ำในบรรยากาศ

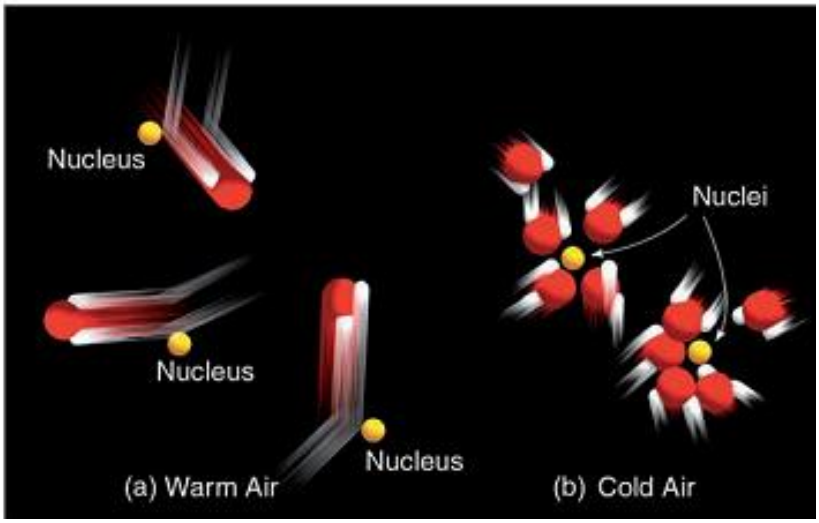




1.2 การระเหย การอิ่มตัว และการควบแน่น

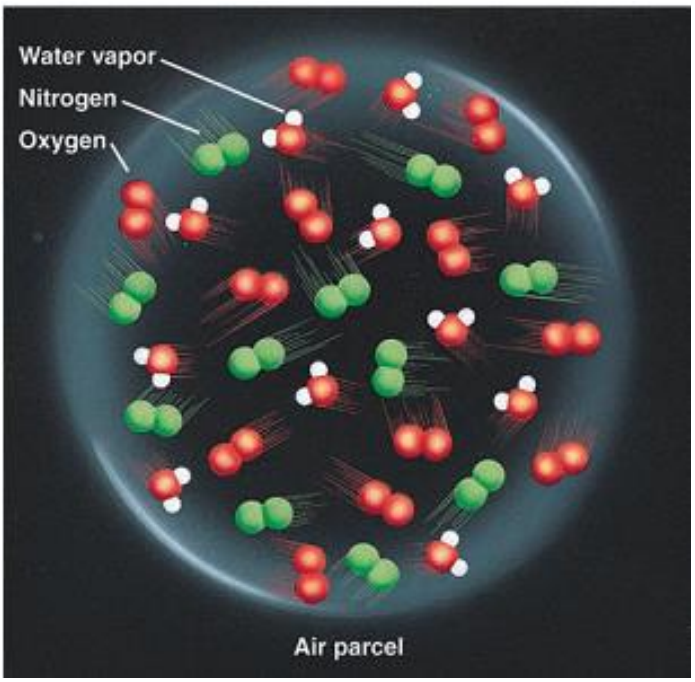






1.3 ความชื้น

- ความชื้นสมบูรณ์ = $\frac{\text{มวลของไอน้ำ}}{\text{ปริมาตรของอากาศ}}$

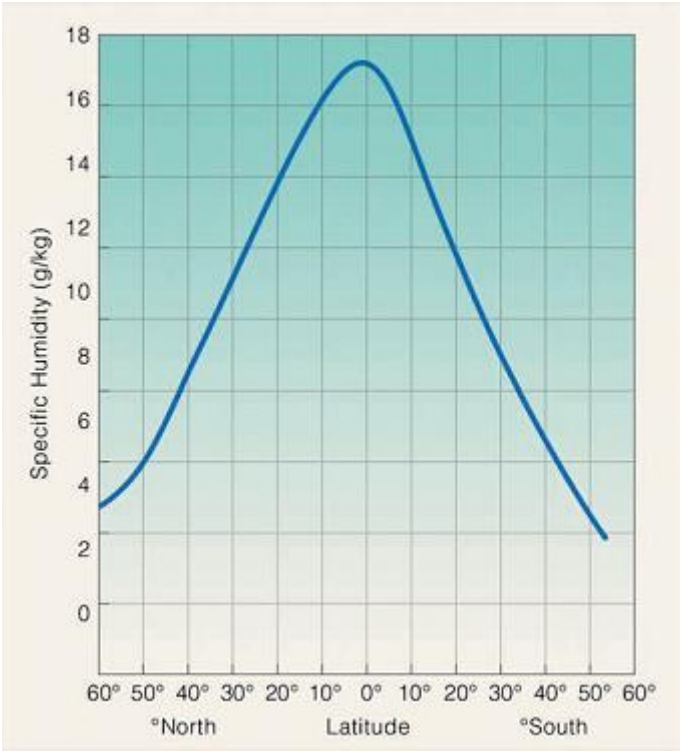


	Parcel Size	Mass of H_2O Vapor	Absolute Humidity
	2 m^3	10 g	5 g/m^3
	1 m^3	10 g	10 g/m^3

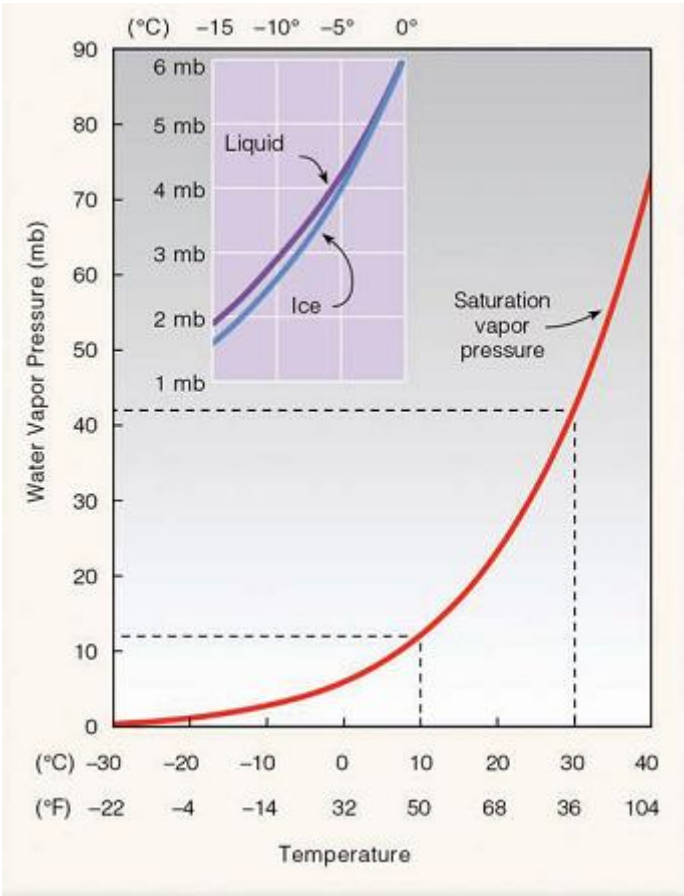
- ความชื้นจำเพาะ = $\frac{\text{มวลของไอน้ำ}}{\text{มวลของอากาศทั้งหมด}}$
- Mixing ratio = $\frac{\text{มวลของไอน้ำ}}{\text{มวลของอากาศแห้ง}}$

	Mass of Parcel	Mass of H_2O Vapor	Specific Humidity
	1 kg	1 g	1 g/kg
	1 kg	1 g	1 g/kg

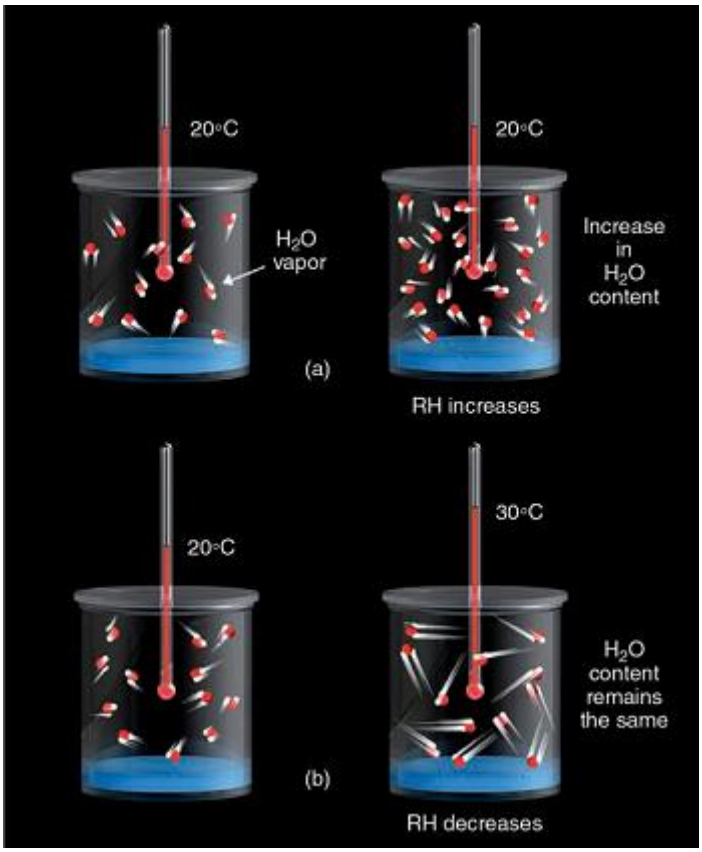
- ความดันไอน้ำ

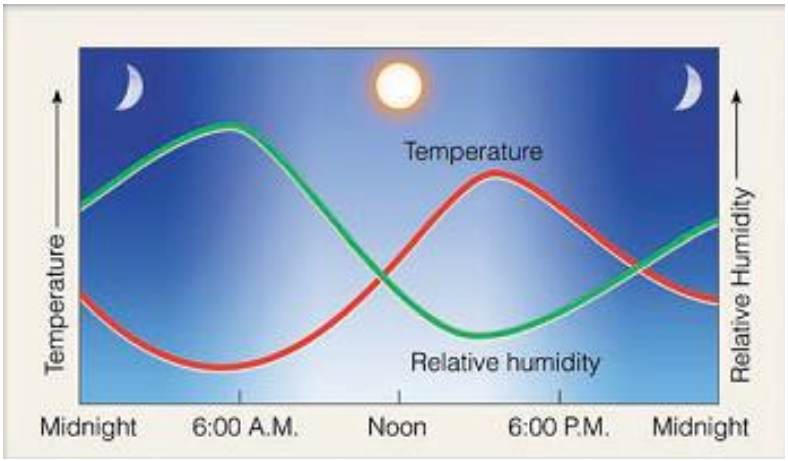


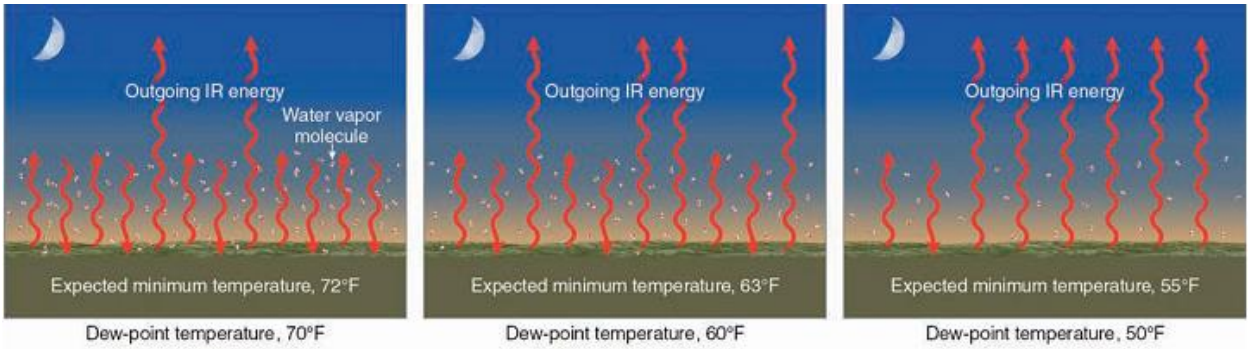
- ความดันไอน้ำอิ่มตัว

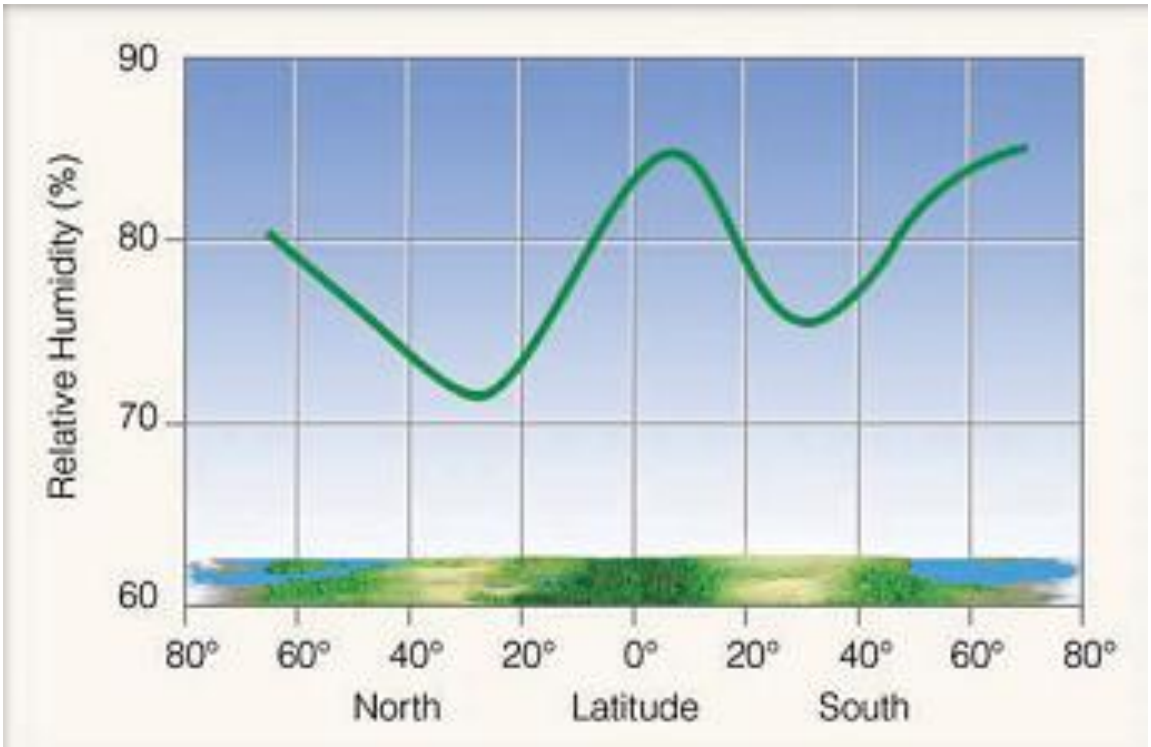


- ความชื้นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความดันไอน้ำขณะนั้น}}{\text{ความดันไอน้ำอิ่มตัว}} \times 100$







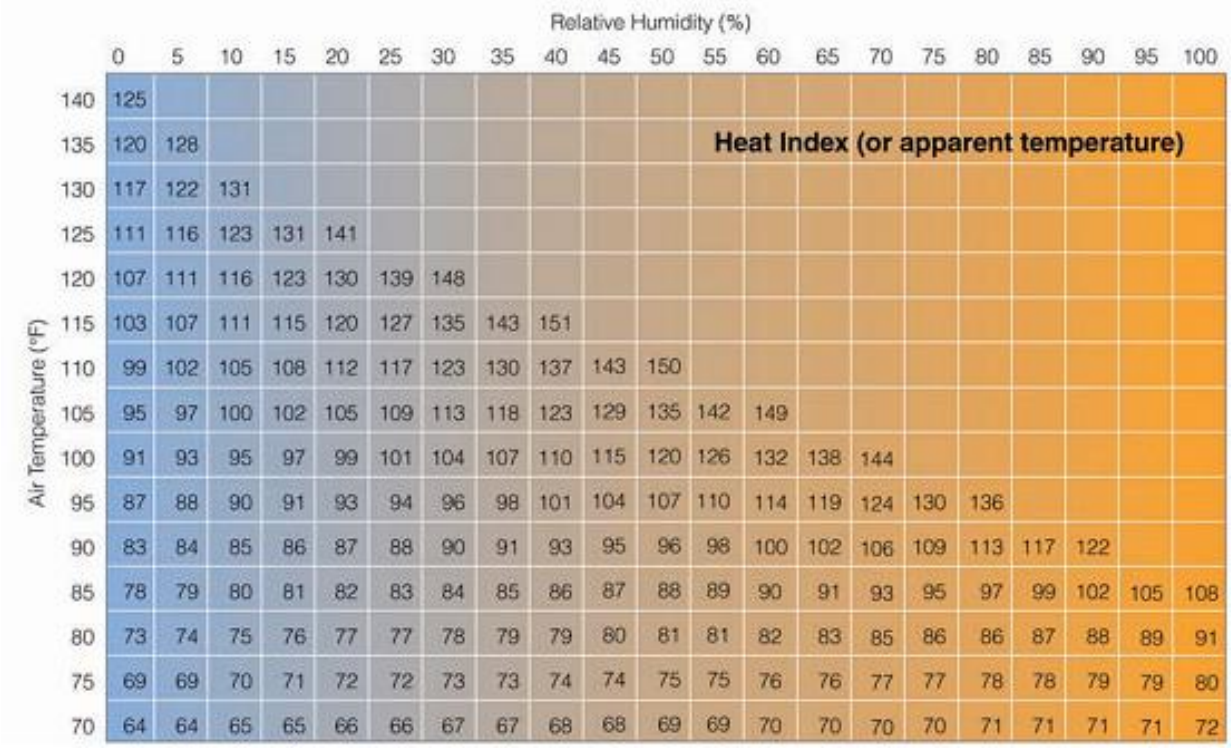


AIR TEMPERATURE		SATURATION VAPOR PRESSURE	AIR TEMPERATURE		SATURATION VAPOR PRESSURE
(°C)	(°F)	(MB)	(°C)	(°F)	(MB)
−18	(0)	1.5	18	(65)	21.0
−15	(5)	1.9	21	(70)	25.0
−12	(10)	2.4	24	(75)	29.6
−9	(15)	3.0	27	(80)	35.0
−7	(20)	3.7	29	(85)	41.0
−4	(25)	4.6	32	(90)	48.1
−1	(30)	5.6	35	(95)	56.2
2	(35)	6.9	38	(100)	65.6
4	(40)	8.4	41	(105)	76.2
7	(45)	10.2	43	(110)	87.8
10	(50)	12.3	46	(115)	101.4
13	(55)	14.8	49	(120)	116.8
16	(60)	17.7	52	(125)	134.2

*The data in this table can be obtained in Fig. 4.10 on p. 95 by reading where the air temperature intersects the saturation vapor pressure curve.

4.4 สภาวะความชื้นสัมพัทธ์ที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์

- Heat index คือ ดัชนีที่แสดงอุณหภูมิของร่างกายที่ได้รับผลกระทบของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
- Heat stroke เกิดขึ้นเมื่อร่างกายมนุษย์สูง 41 °C ทำให้ระบบหมุนเวียนในร่างกายล้มเหลว

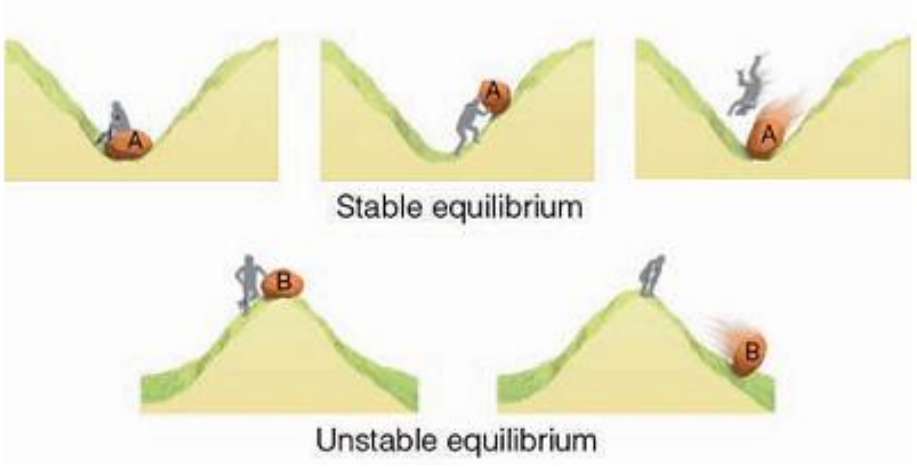


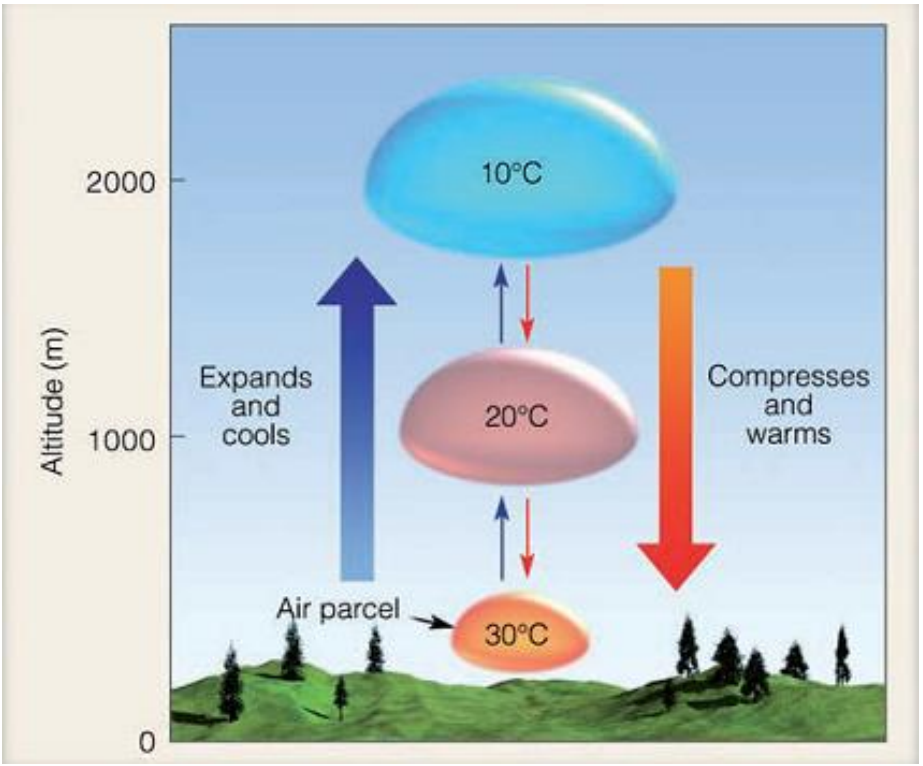
Air Temperature (°F) \ Relative Humidity (%)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
140	125																				
135	120	128																			
130	117	122	131																		
125	111	116	123	131	141																
120	107	111	116	123	130	139	148														
115	103	107	111	115	120	127	135	143	151												
110	99	102	105	108	112	117	123	130	137	143	150										
105	95	97	100	102	105	109	113	118	123	129	135	142	149								
100	91	93	95	97	99	101	104	107	110	115	120	126	132	138	144						
95	87	88	90	91	93	94	96	98	101	104	107	110	114	119	124	130	136				
90	83	84	85	86	87	88	90	91	93	95	96	98	100	102	106	109	113	117	122		
85	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	93	95	97	99	102	105	108
80	73	74	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	83	85	86	86	87	88	89	91
75	69	69	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80
70	64	64	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	70	70	71	71	71	71	72

****

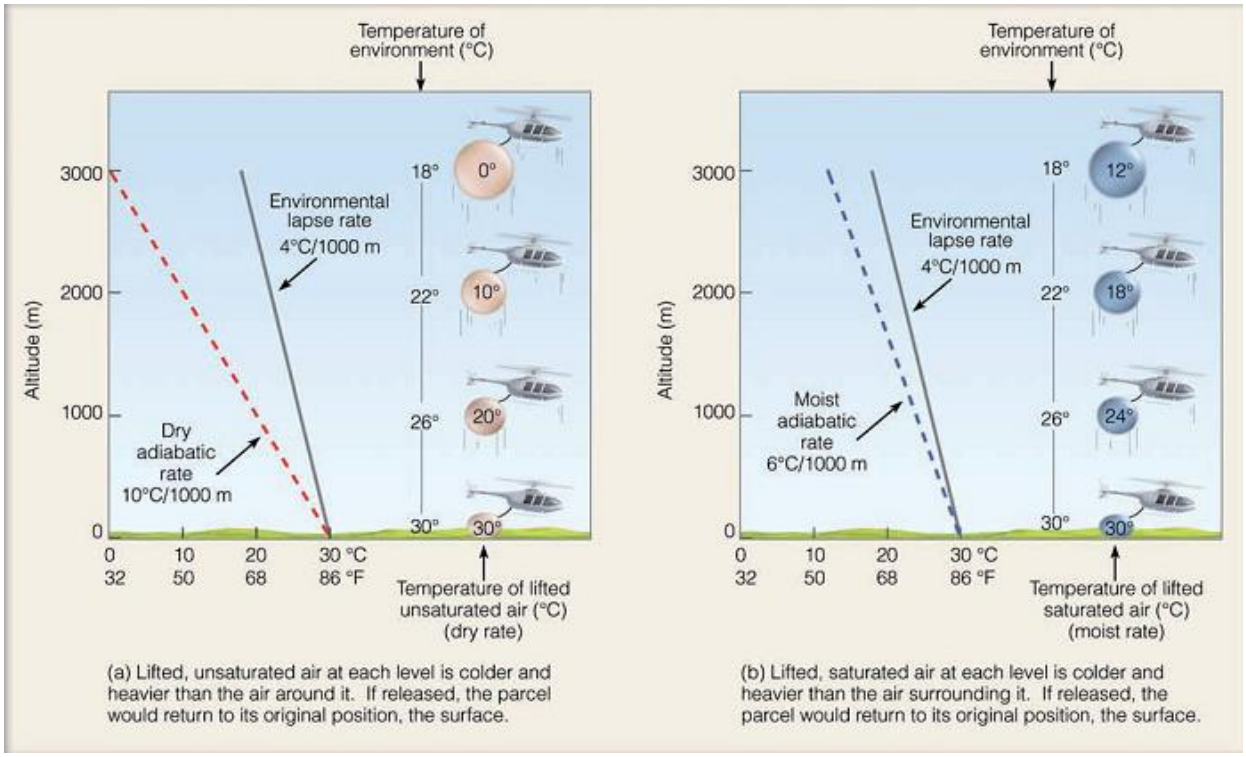
บทที่ 6
เสถียรภาพของบรรยากาศ (Stability of Atmosphere)

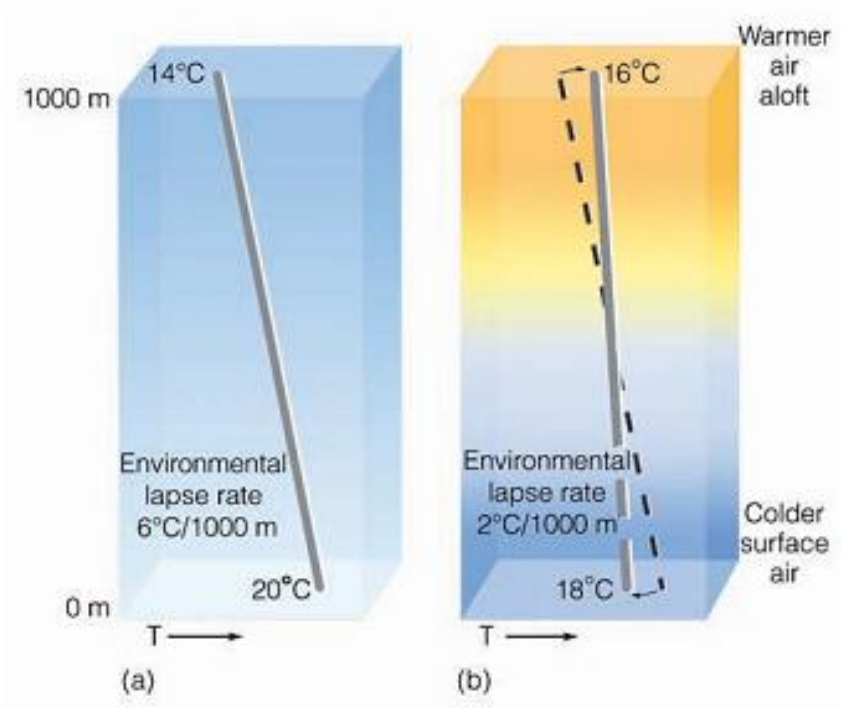
1.1 เงื่อนไขที่ทำให้มวลอากาศเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่



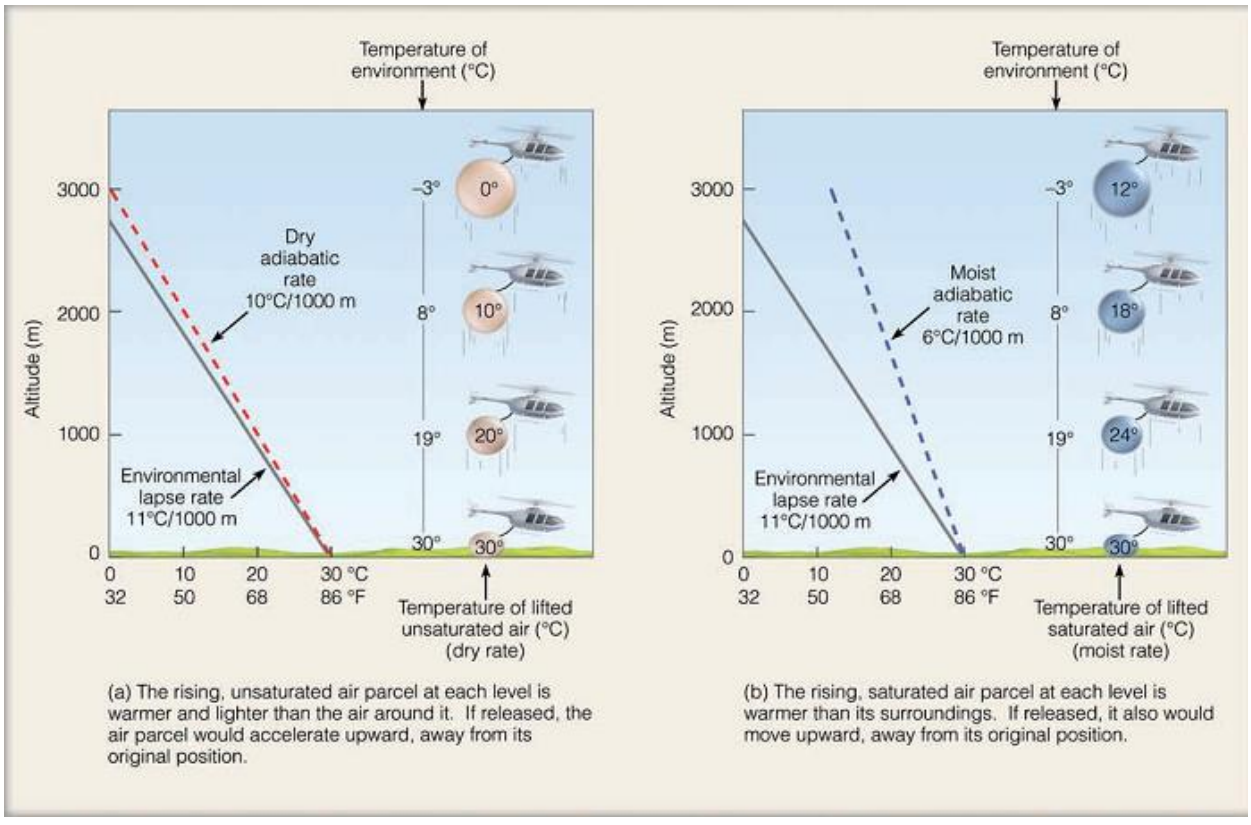


1.1.1 เสถียรภาพสมบูรณ์ (Absolute stable)

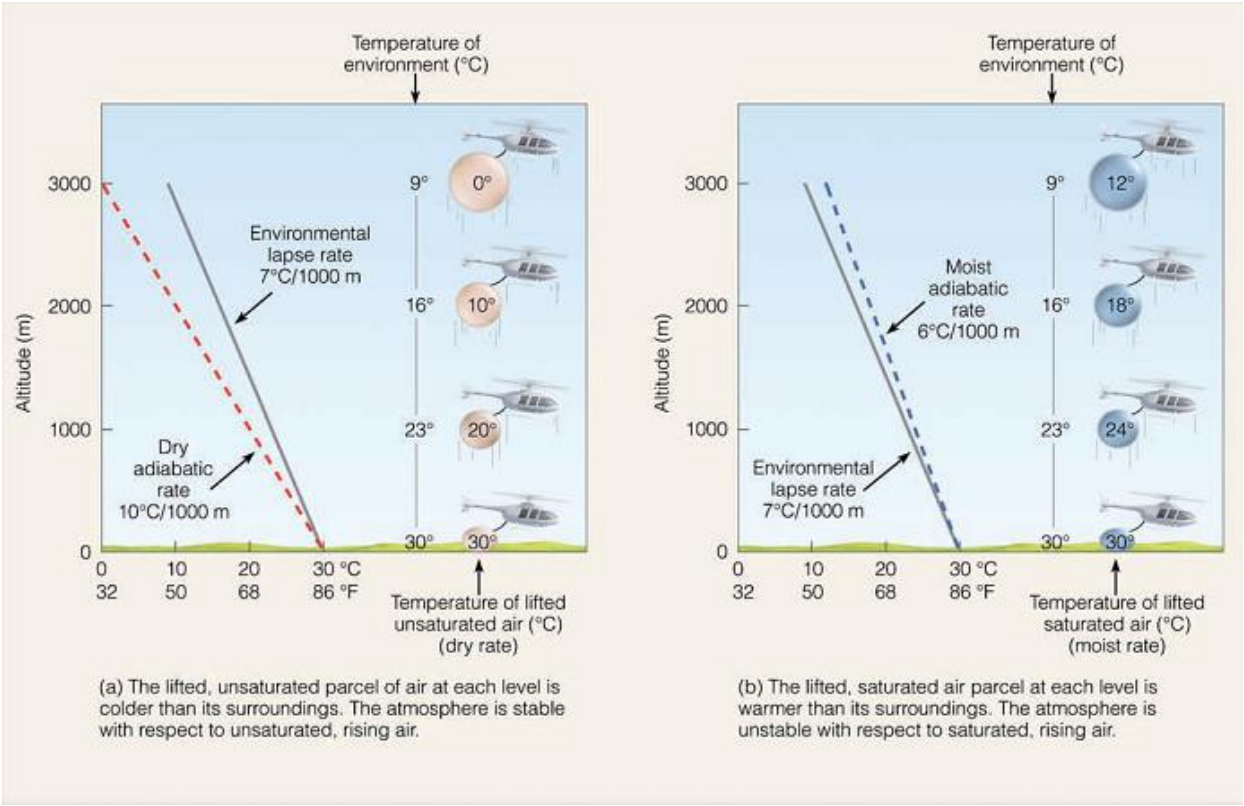




1.1.2 ไม่มีเสถียรภาพ (*Unstable*)

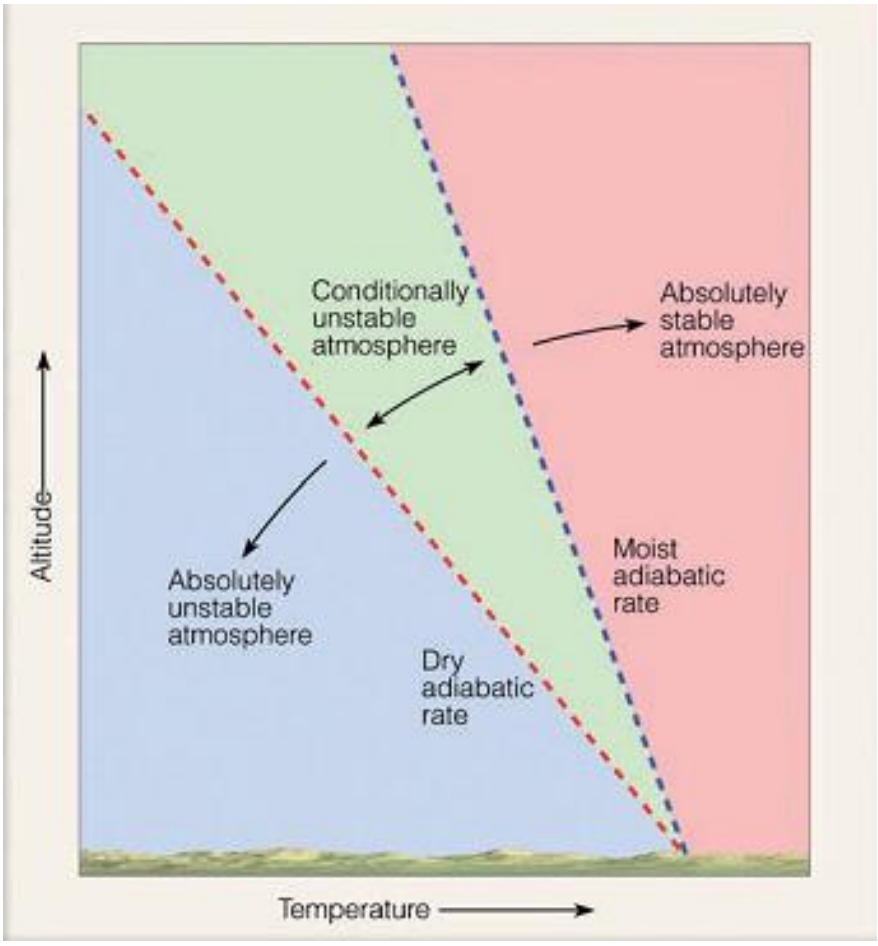


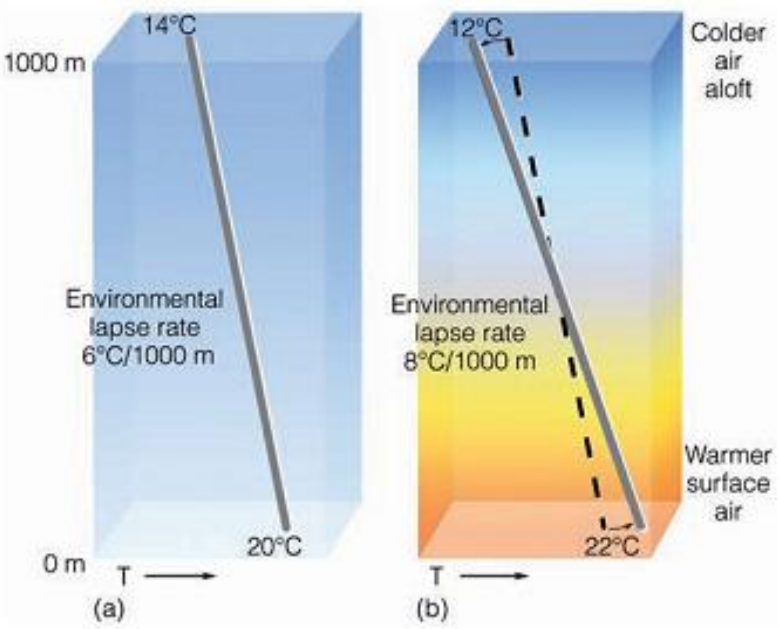
1.1.3 ไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข (Conditional unstable)

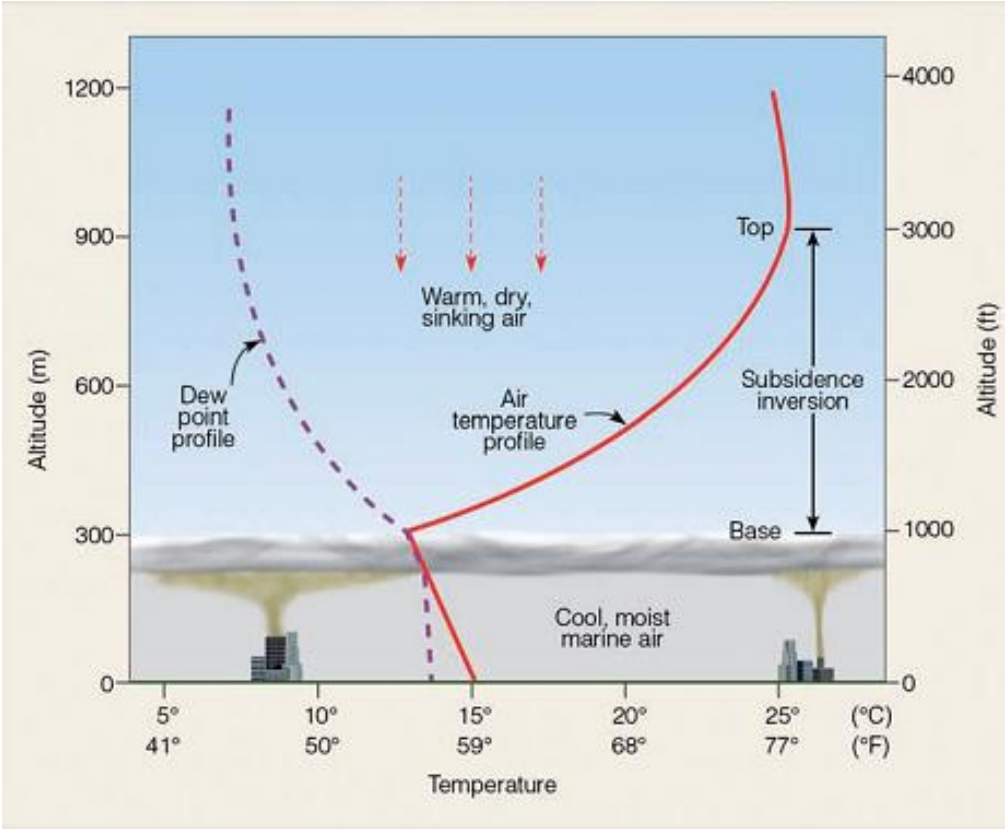


(a) The lifted, unsaturated parcel of air at each level is colder than its surroundings. The atmosphere is stable with respect to unsaturated, rising air.

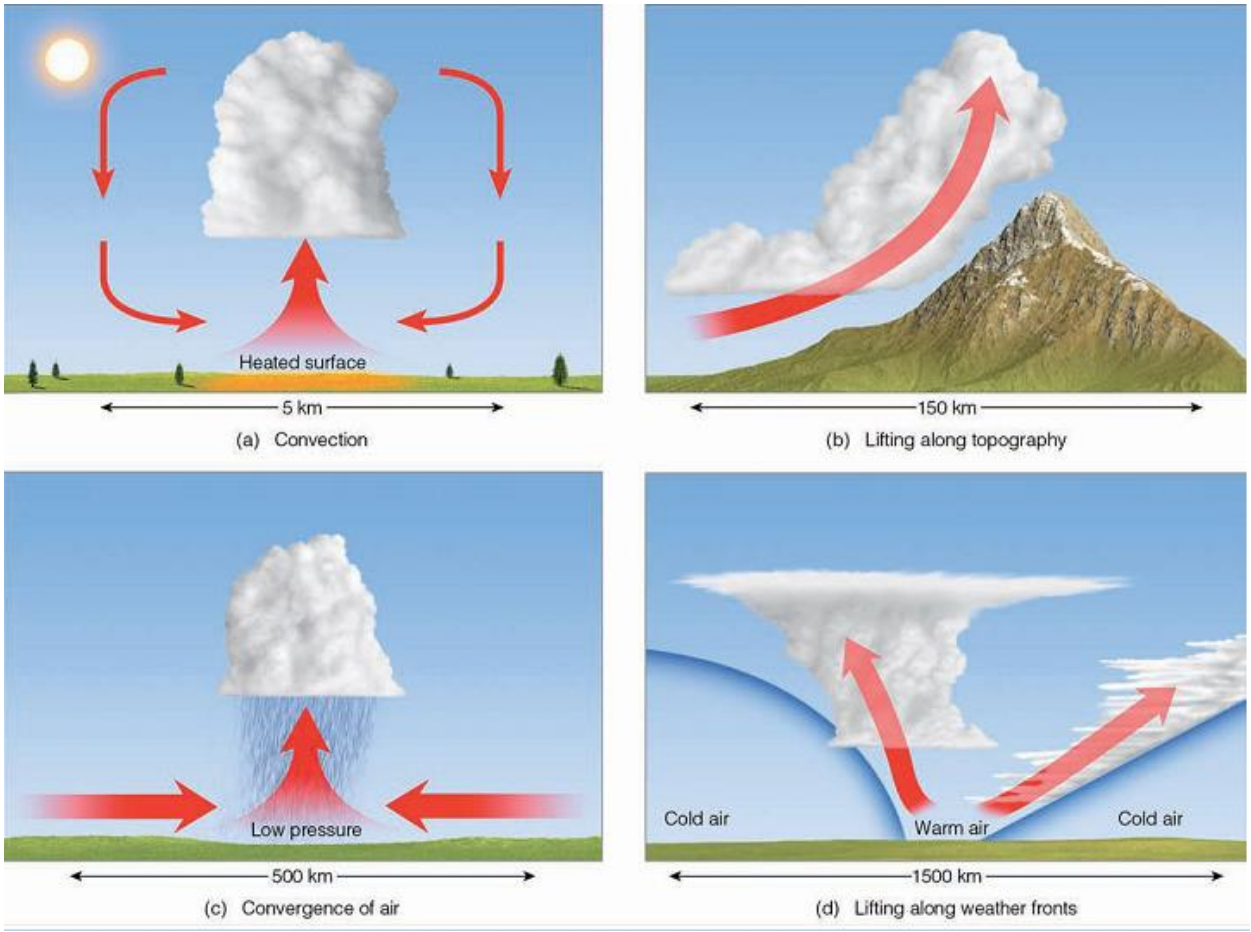
(b) The lifted, saturated air parcel at each level is warmer than its surroundings. The atmosphere is unstable with respect to saturated, rising air.

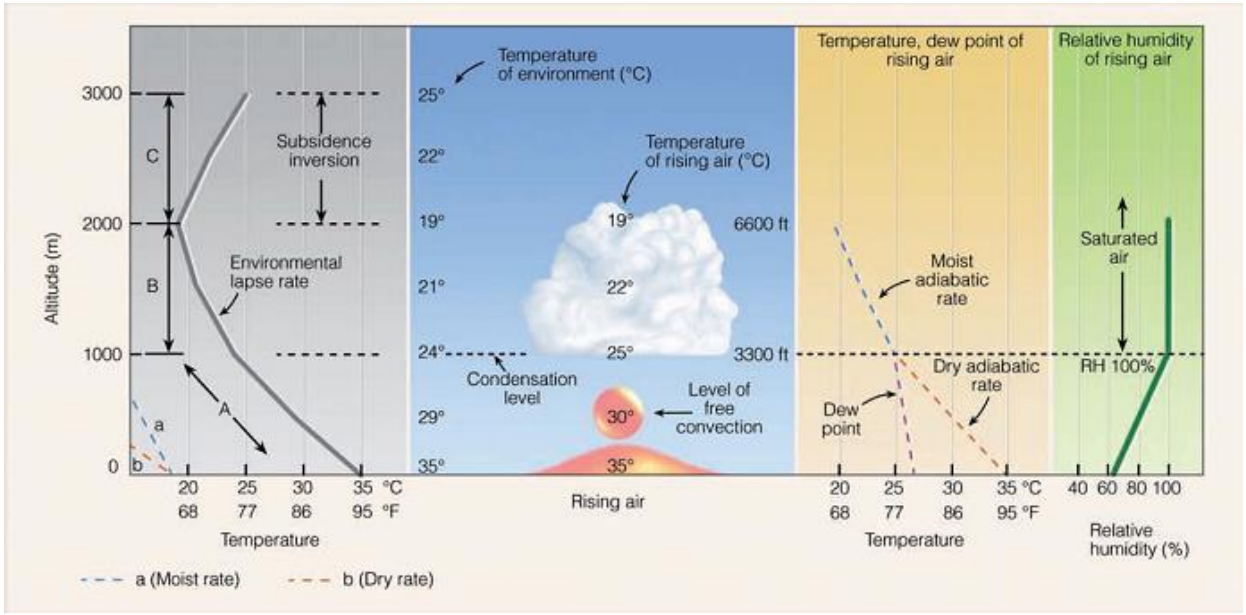


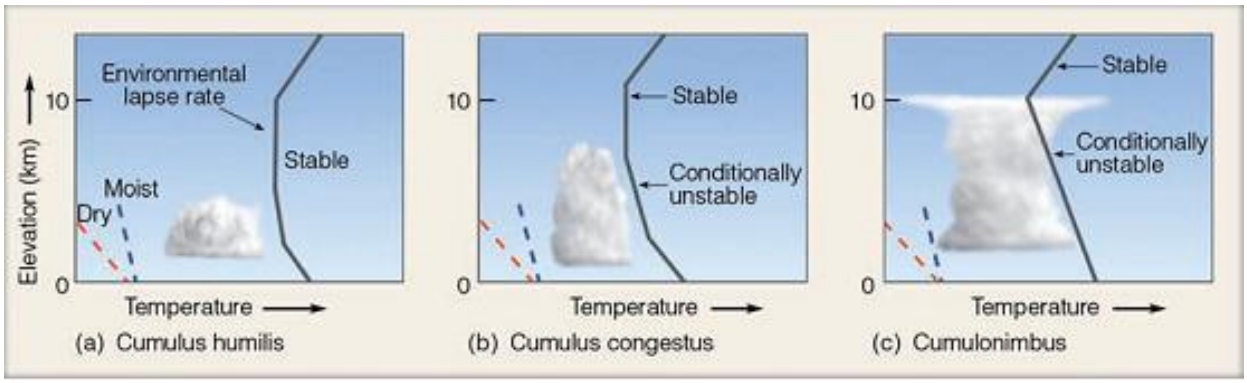

14°C
1000 m
Environmental
lapse rate
6°C/1000 m
20°C
0 m
T
(a)
12°C
Colder
air
aloft
Environmental
lapse rate
8°C/1000 m
Warmer
surface
air
22°C
T
(b)

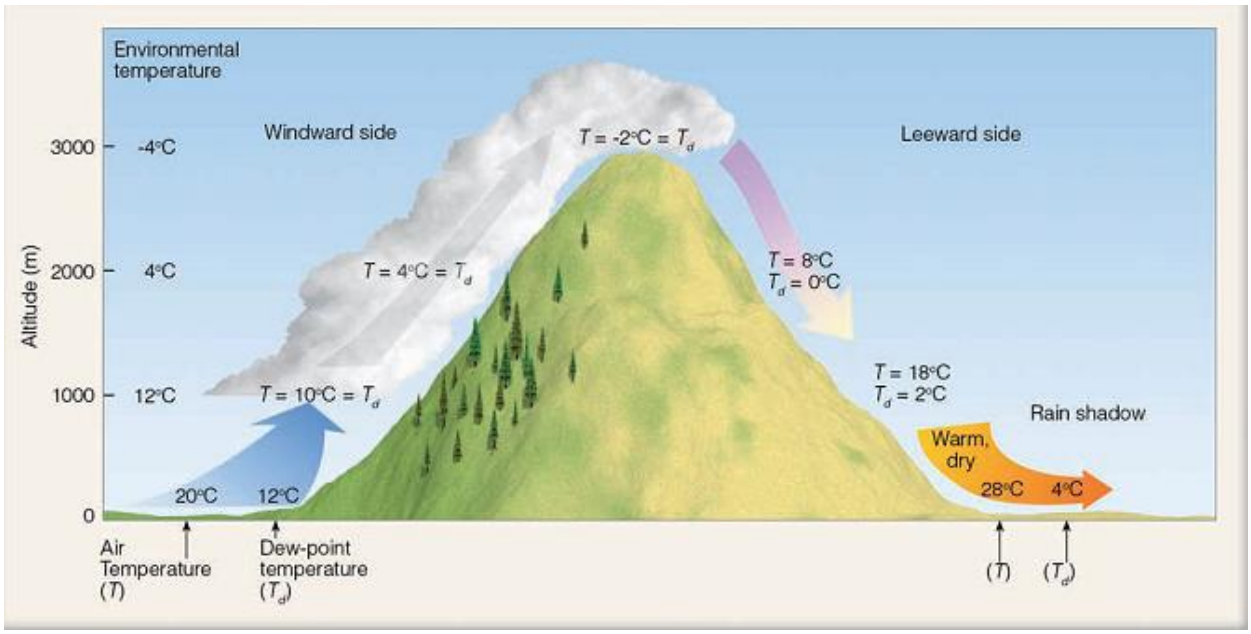

1200
900
600
300
0
Altitude (m)
4000
3000
2000
1000
0
Altitude (ft)
Top
Warm, dry,
sinking air
Subsidence
inversion
Dew
point
profile
Air
temperature
profile
Base
Cool, moist
marine air
5°
41°
10°
50°
15°
59°
20°
68°
25°
77°
(°C)
(°F)
Temperature

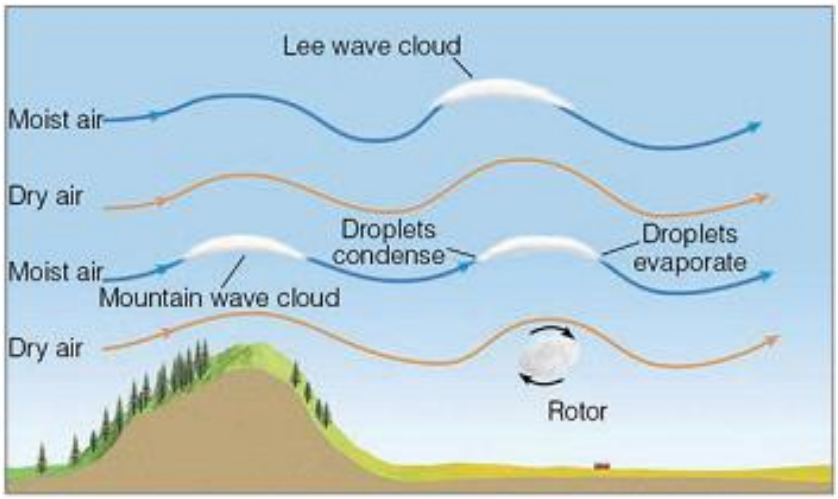
1.2 การก่อตัวของเมฆ

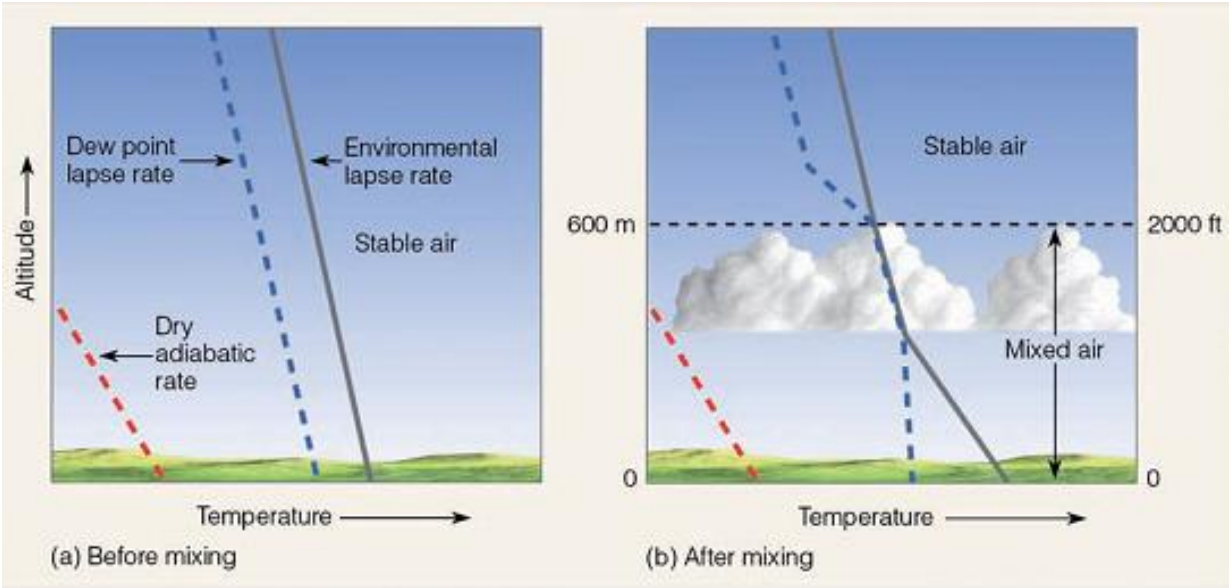





Elevation (km)
10
0
Environmental lapse rate
Stable
Moist
Dry
Temperature
(a) Cumulus humilis
Stable
Conditionally unstable
(b) Cumulus congestus
Stable
Conditionally unstable
(c) Cumulonimbus


Environmental temperature
Windward side
Leeward side
3000
2000
1000
0
Altitude (m)
-4°C
4°C
12°C
T = -2°C = T_d
T = 4°C = T_d
T = 10°C = T_d
T = 8°C
T_d = 0°C
T = 18°C
T_d = 2°C
Rain shadow
Warm, dry
28°C
4°C
20°C
12°C
Air Temperature (T)
Dew-point temperature (T_d)
(T)
(T_d)

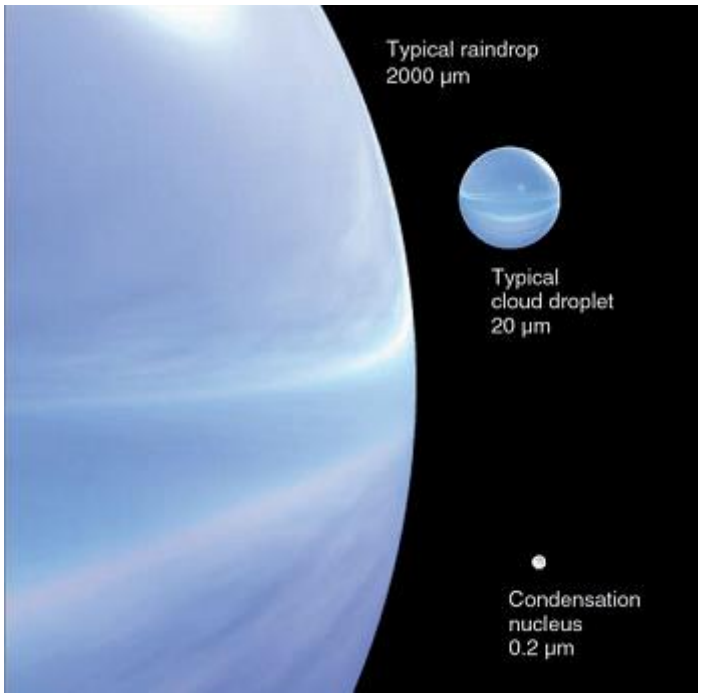

Lee wave cloud
Moist air
Dry air
Droplets condense
Droplets evaporate
Moist air
Mountain wave cloud
Dry air
Rotor

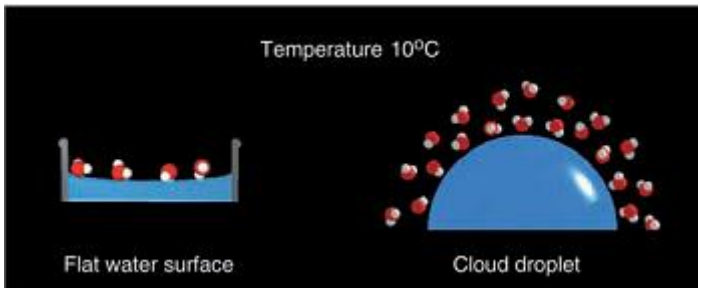

Dew point lapse rate
Environmental lapse rate
Stable air
Dry adiabatic rate
Altitude
Temperature
(a) Before mixing
Stable air
600 m
2000 ft
Mixed air
0
0
Temperature
(b) After mixing

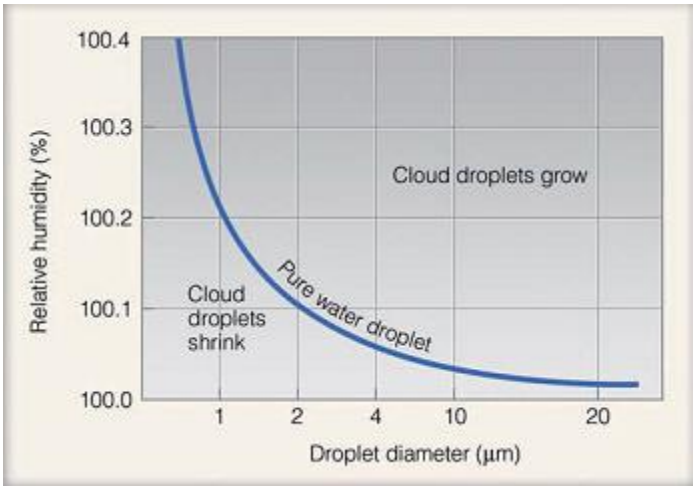
****

บทที่ 7
หยาดน้ำฟ้า (Precipitation)

1.1 ขบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้า

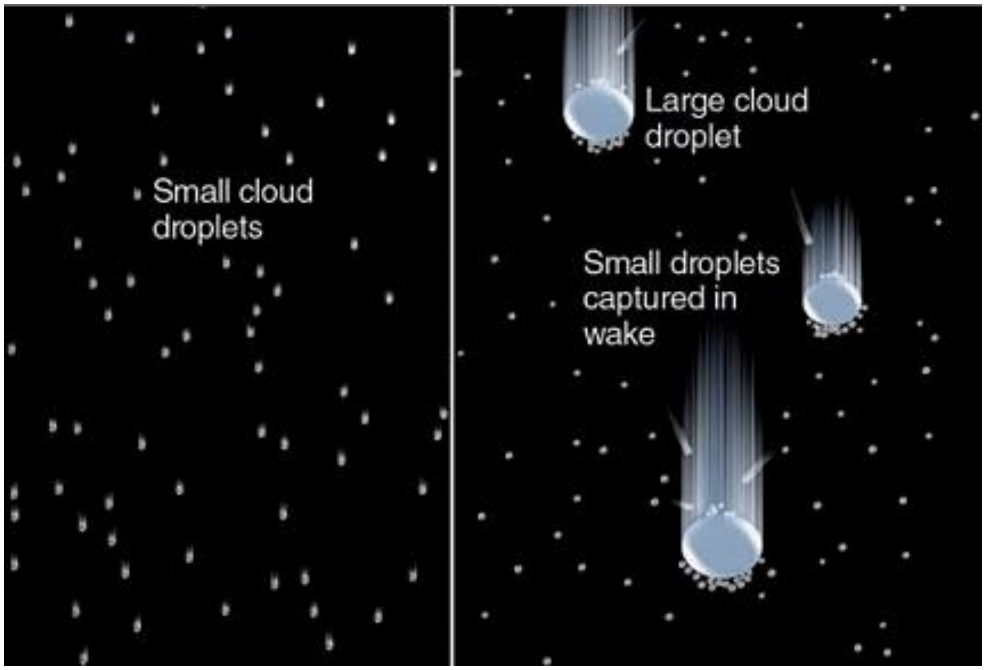


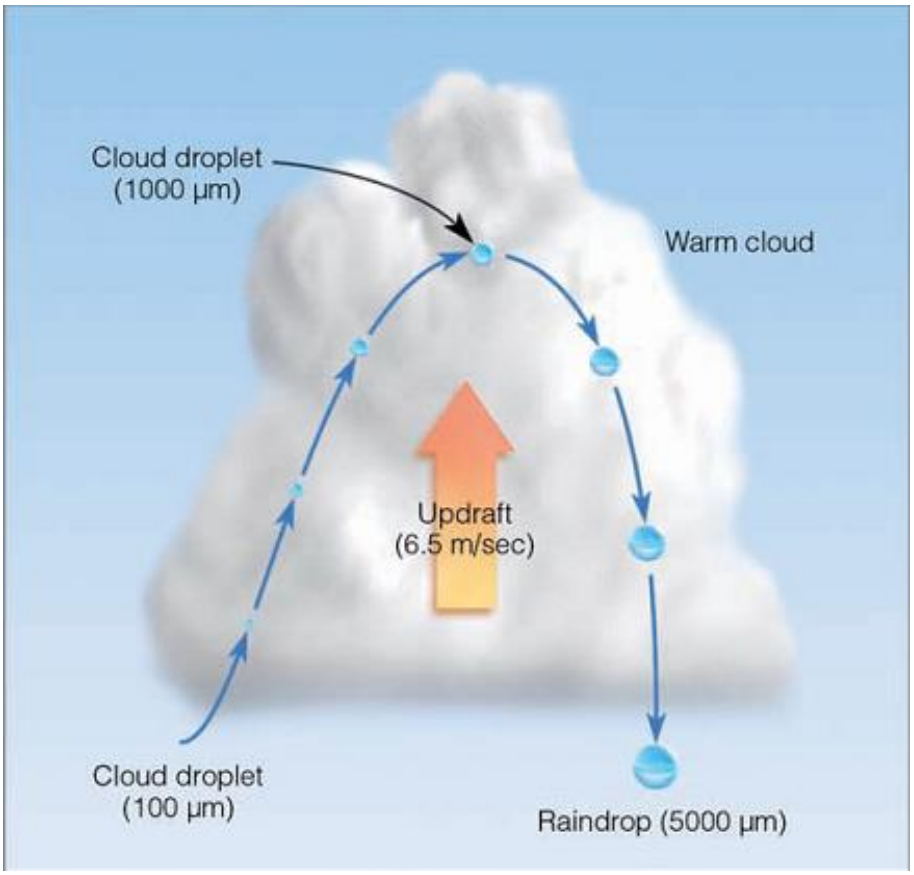




- ขบวนการ Collision and Coalescence process

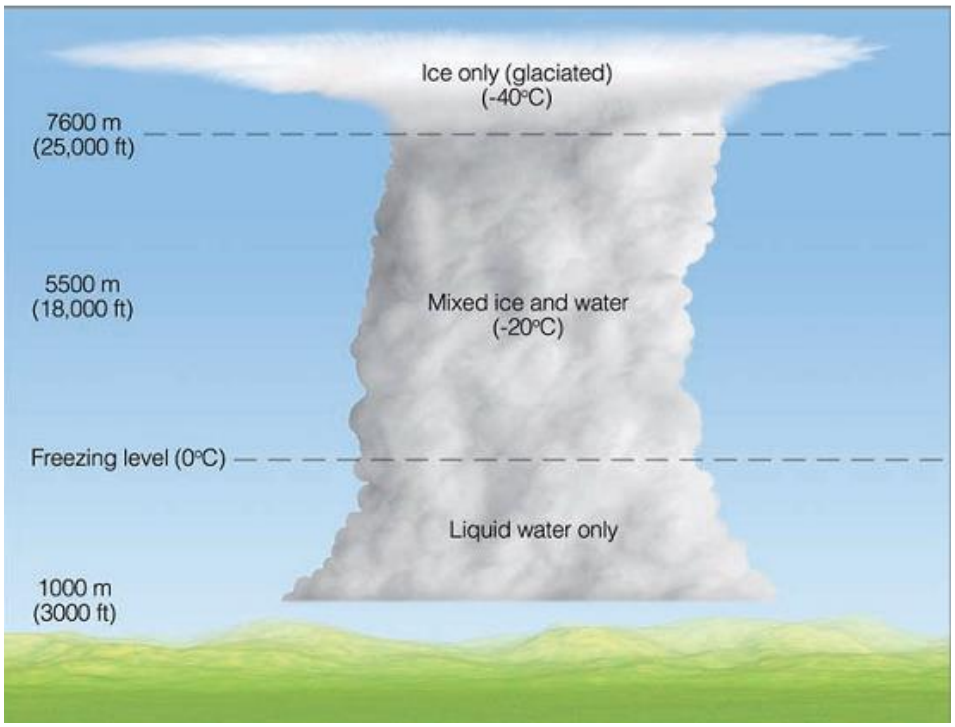
TERMINAL VELOCITY			
Diameter (μm)	m/sec	ft/sec	Type of Particle
0.2	0.0000001	0.0000003	Condensation nuclei
20	0.01	0.03	Typical cloud droplet
100	0.27	0.9	Large cloud droplet
200	0.70	2.3	Large cloud droplet or drizzle
1000	4.0	13.1	Small raindrop
2000	6.5	21.4	Typical raindrop
5000	9.0	29.5	Large raindrop



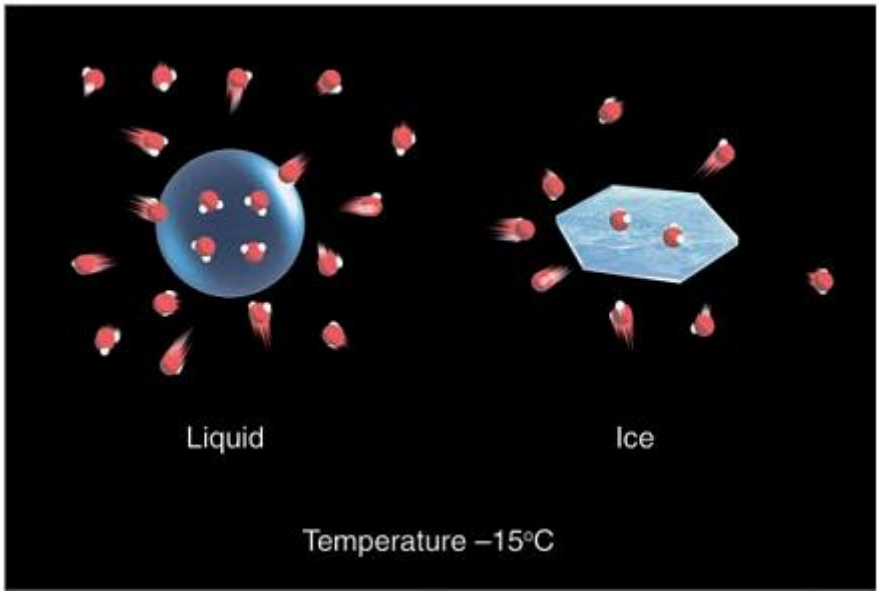


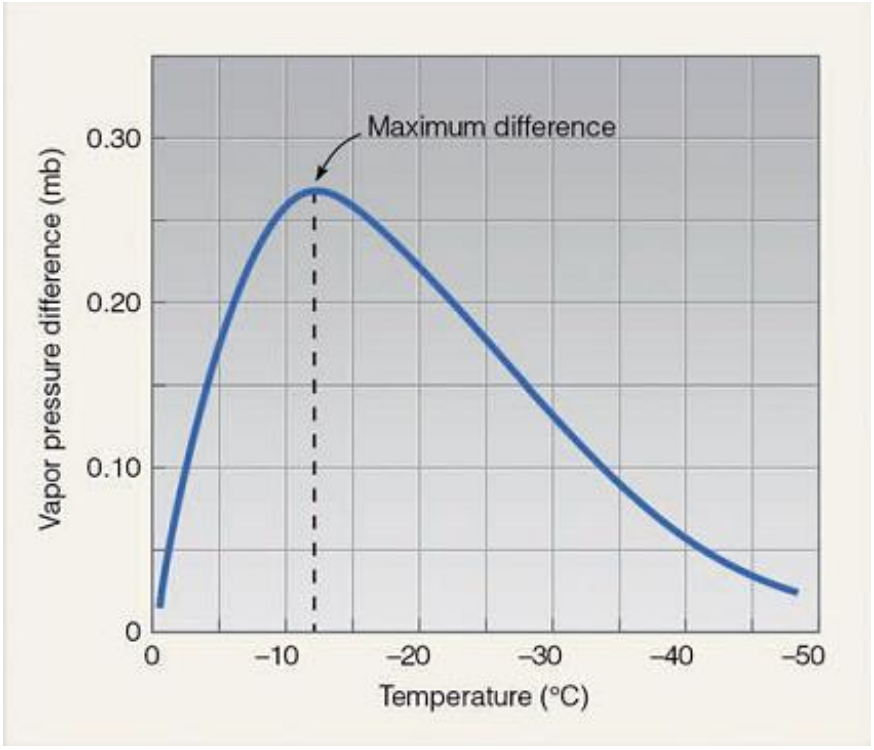
การเกิดฝนจากหยดน้ำในเมฆ ประกอบด้วย

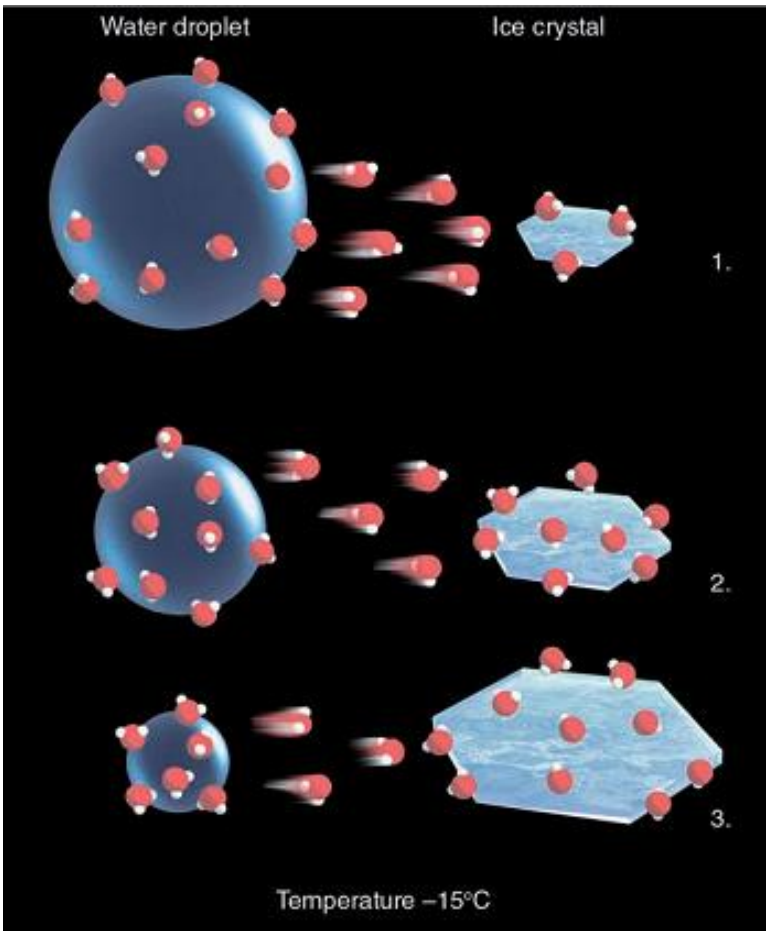
- ขนาดของหยดน้ำ
- ความหนาของเมฆ
- กระแสอากาศไหลขึ้นในก้อนเมฆ
- ประจุไฟฟ้าของหยดน้ำ และสนามไฟฟ้าในเมฆ



- ขบวนการ Bergeron (Ice-crystal)



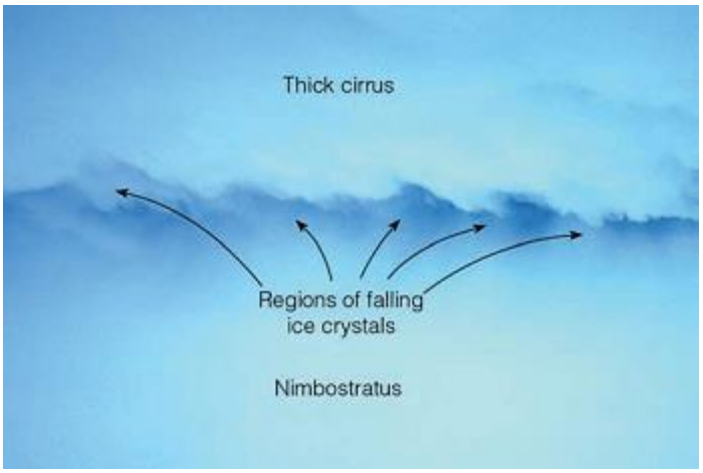


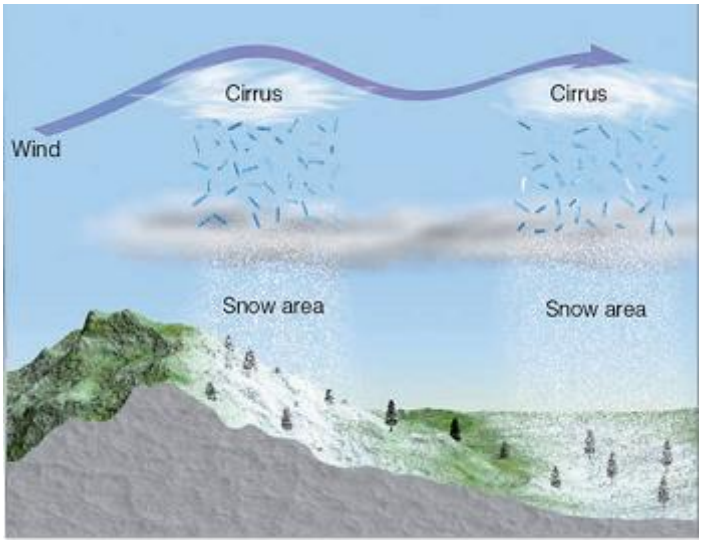


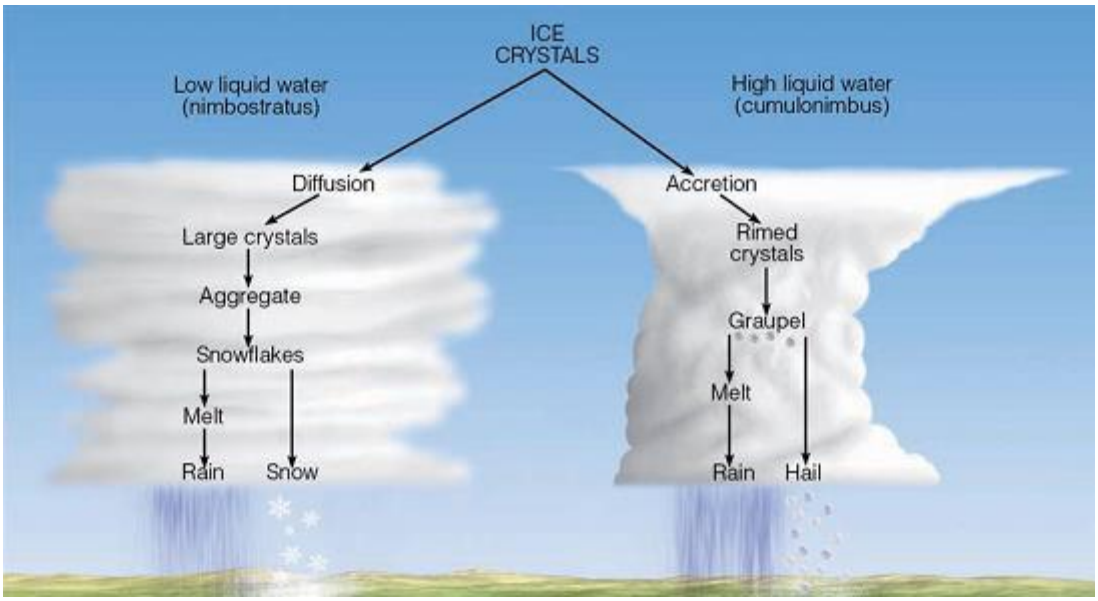
(a) Falling ice crystals may freeze supercooled droplets on contact (accretion), producing larger ice particles.

(b) Falling ice particles may collide and fracture into many tiny (secondary) ice particles.

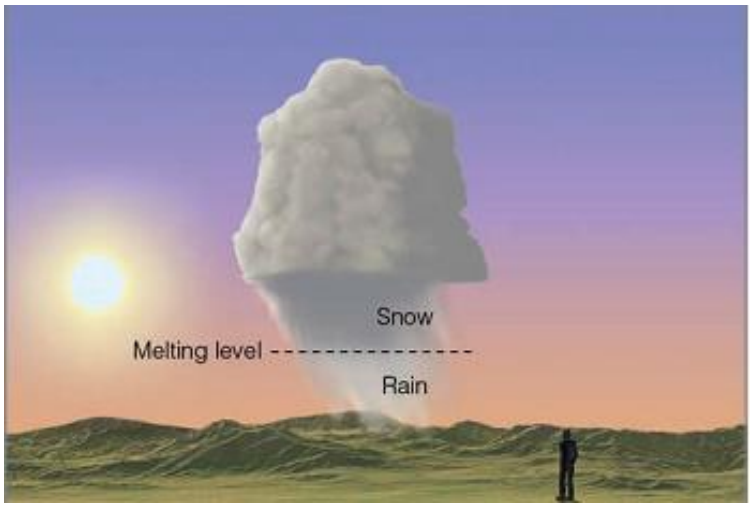
(c) Falling ice crystals may collide and stick to other ice crystals (aggregation), producing snowflakes.

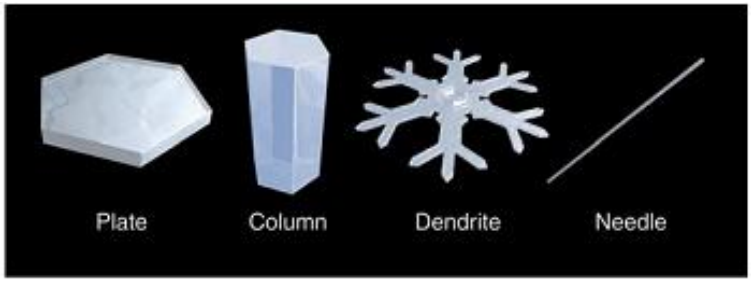

Thick cirrus
Regions of falling ice crystals
Nimbostratus


Cirrus
Cirrus
Wind
Snow area
Snow area


ICE CRYSTALS
Low liquid water (nimbostratus)
High liquid water (cumulonimbus)
Diffusion
Accretion
Large crystals
Rimed crystals
Aggregate
Graupel
Snowflakes
Melt
Melt
Rain
Snow
Rain
Hail

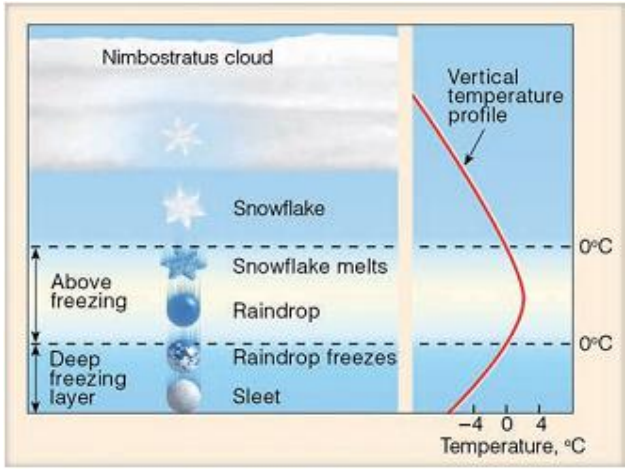
1.2 ชนิดของ Precipitation



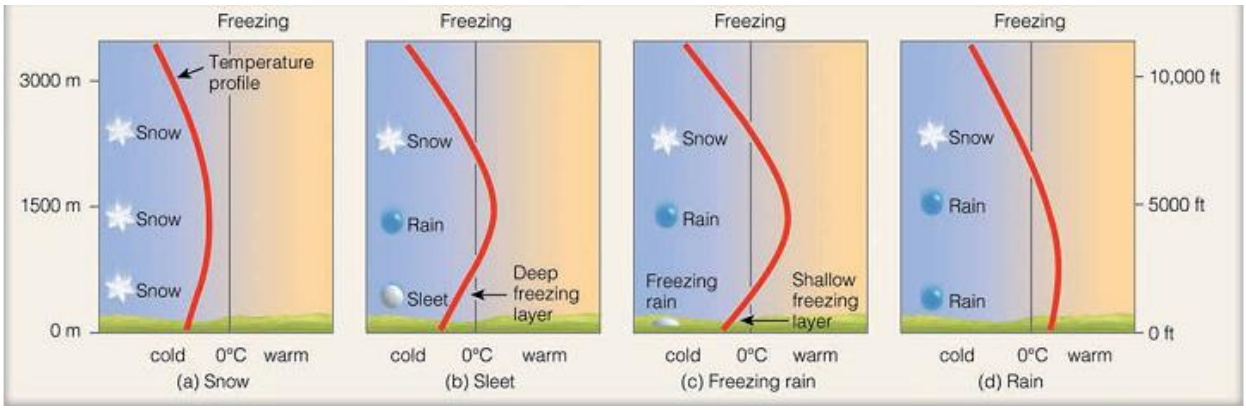


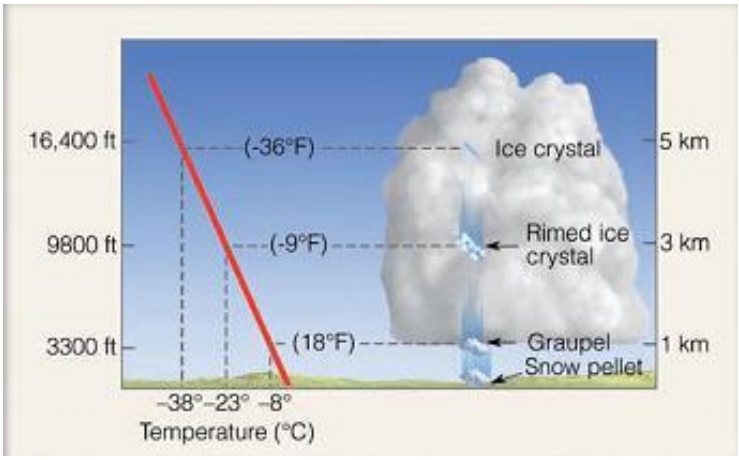
ENVIRONMENTAL TEMPERATURE (°C)	(°F)	CRYSTAL HABIT
0 to −4	32 to 25	Thin plates
−4 to −6	25 to 21	Needles
−6 to −10	21 to 14	Columns
−10 to −12	14 to 10	Plates
−12 to −16	10 to 3	Dendrites, plates
−16 to −22	3 to −8	Plates
−22 to −40	−8 to −40	Hollow columns

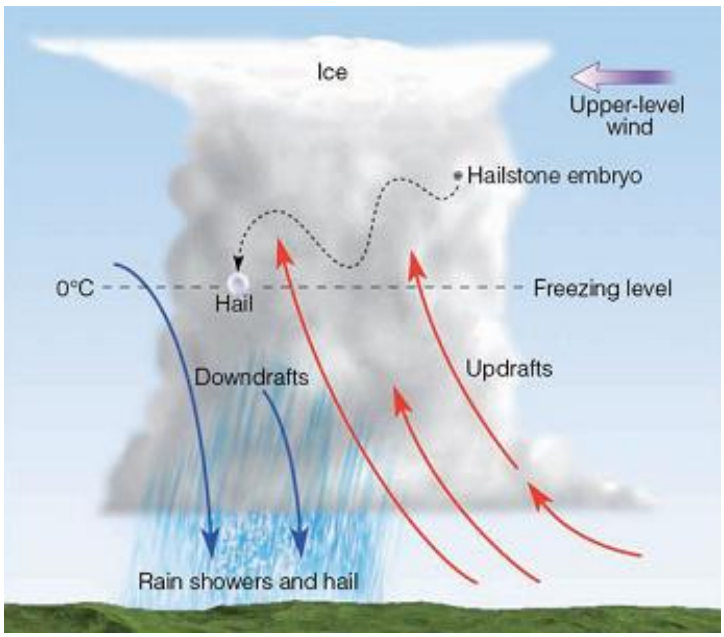
*Note that at each temperature, the type of crystal that forms (e.g., hollow columns versus solid columns) will depend on the difference in saturation vapor pressure between ice and supercooled water.



STOP

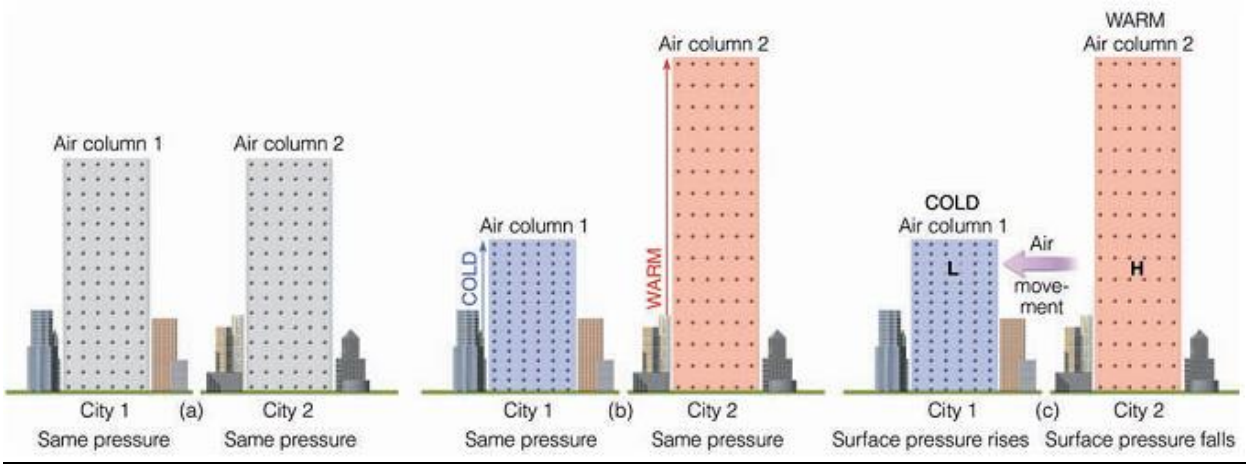

Freezing
Temperature profile
3000 m
1500 m
0 m
Snow
Snow
Snow
cold
0°C
warm
(a) Snow
Freezing
Snow
Rain
Sleet
Deep freezing layer
cold
0°C
warm
(b) Sleet
Freezing
Snow
Rain
Freezing rain
Shallow freezing layer
cold
0°C
warm
(c) Freezing rain
Freezing
Snow
Rain
Rain
10,000 ft
5000 ft
0 ft
cold
0°C
warm
(d) Rain

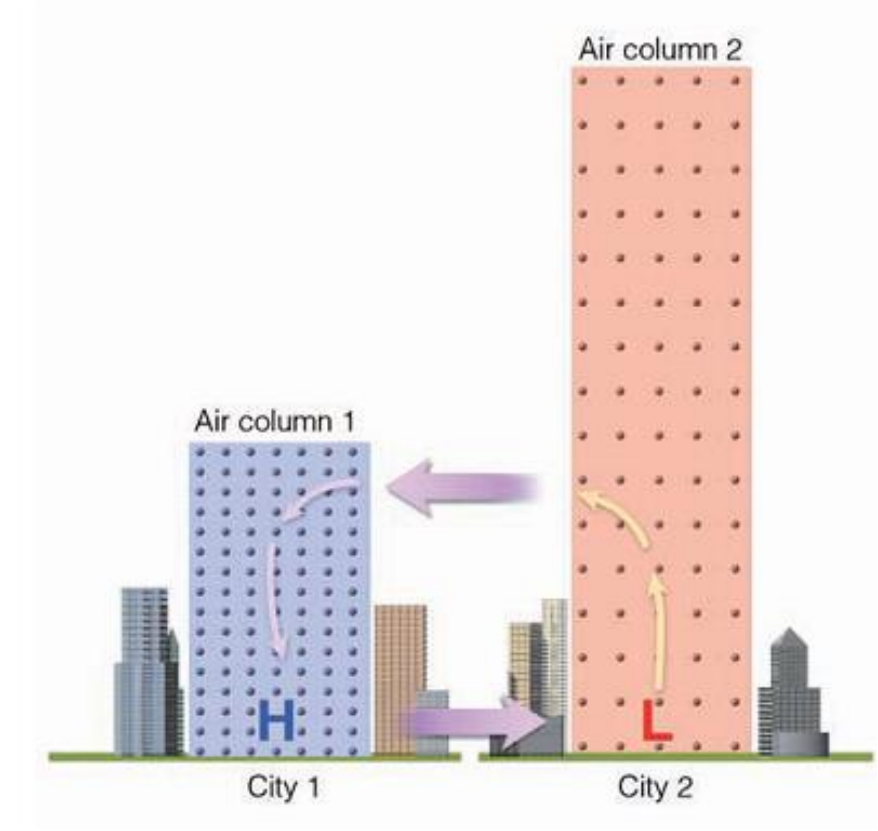

16,400 ft
9800 ft
3300 ft
(-36°F)
(-9°F)
(18°F)
Ice crystal
Rimed ice crystal
Graupel
Snow pellet
5 km
3 km
1 km
-38° -23° -8°
Temperature (°C)

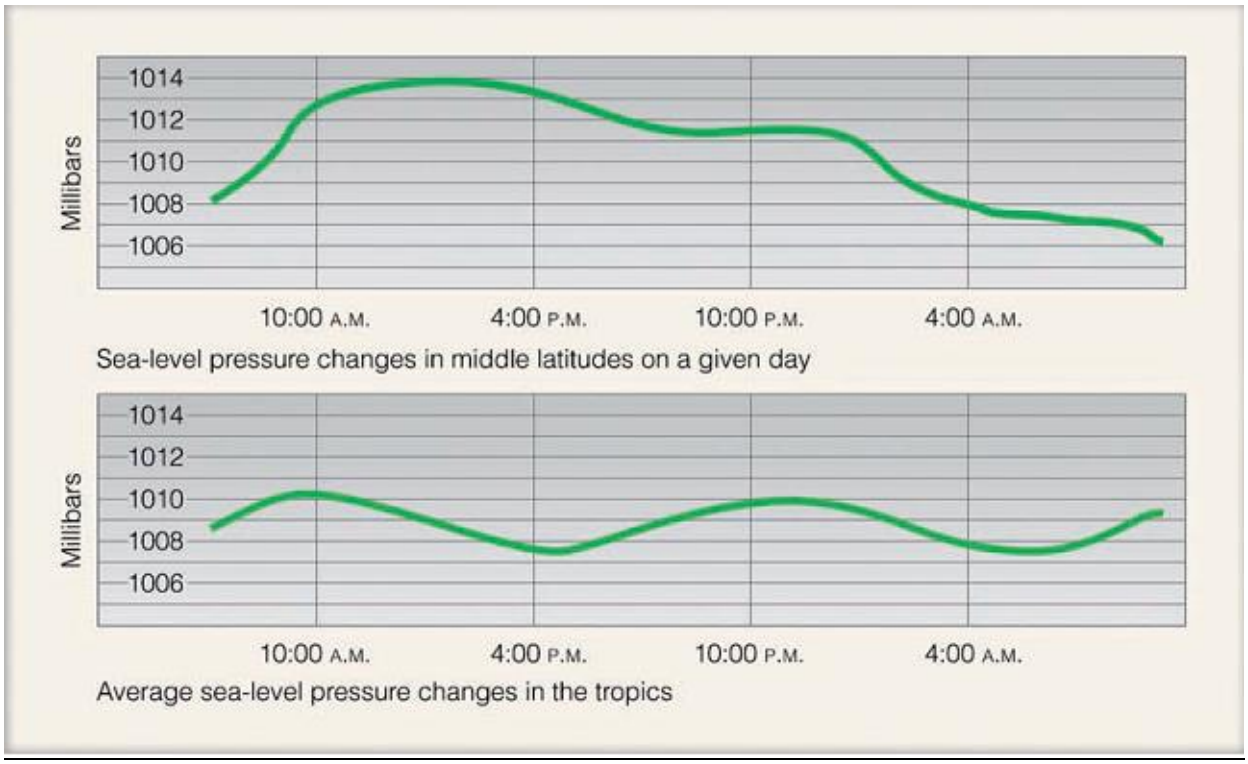

Ice
Upper-level wind
Hailstone embryo
0°C
Hail
Freezing level
Downdrafts
Updrafts
Rain showers and hail

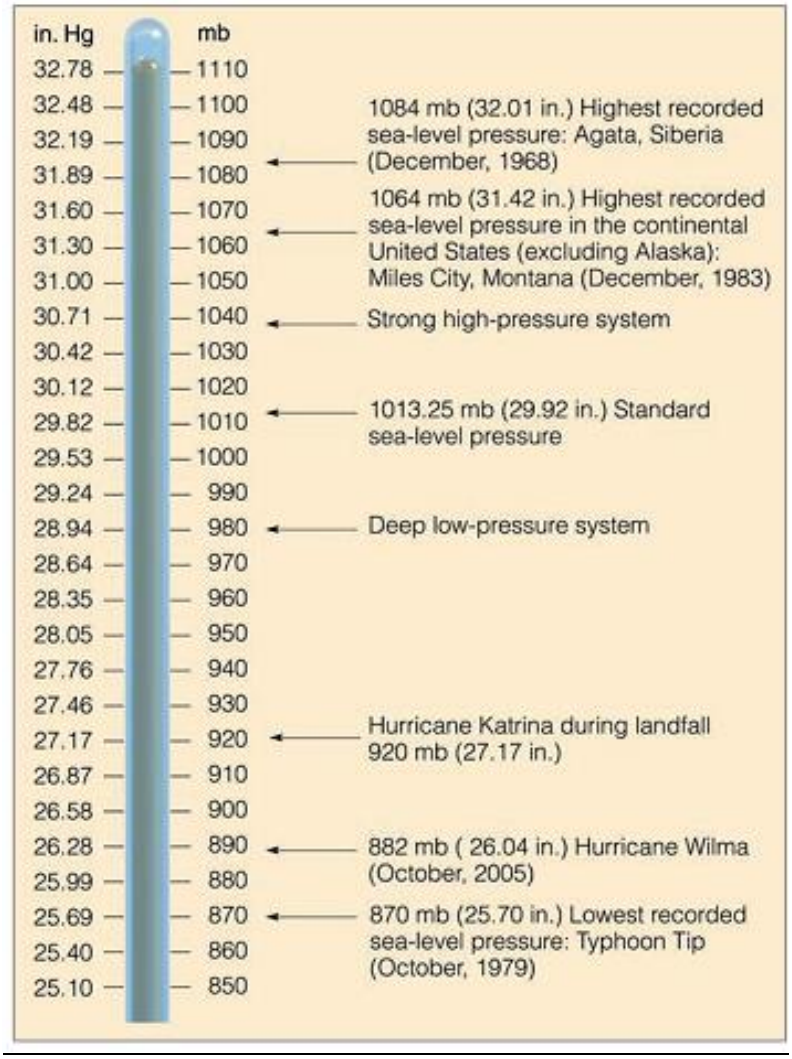
****

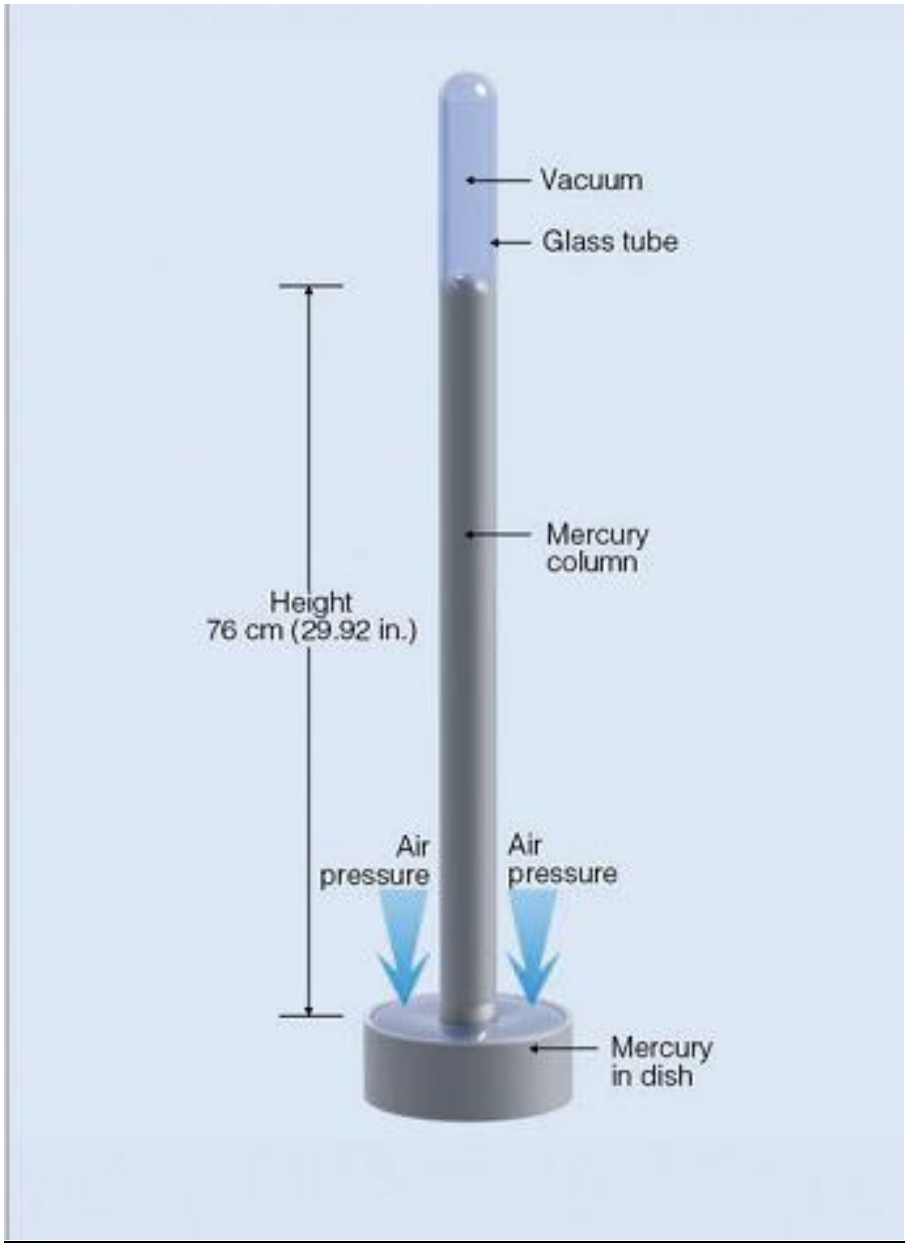
บทที่ 8
ความกดอากาศและลม

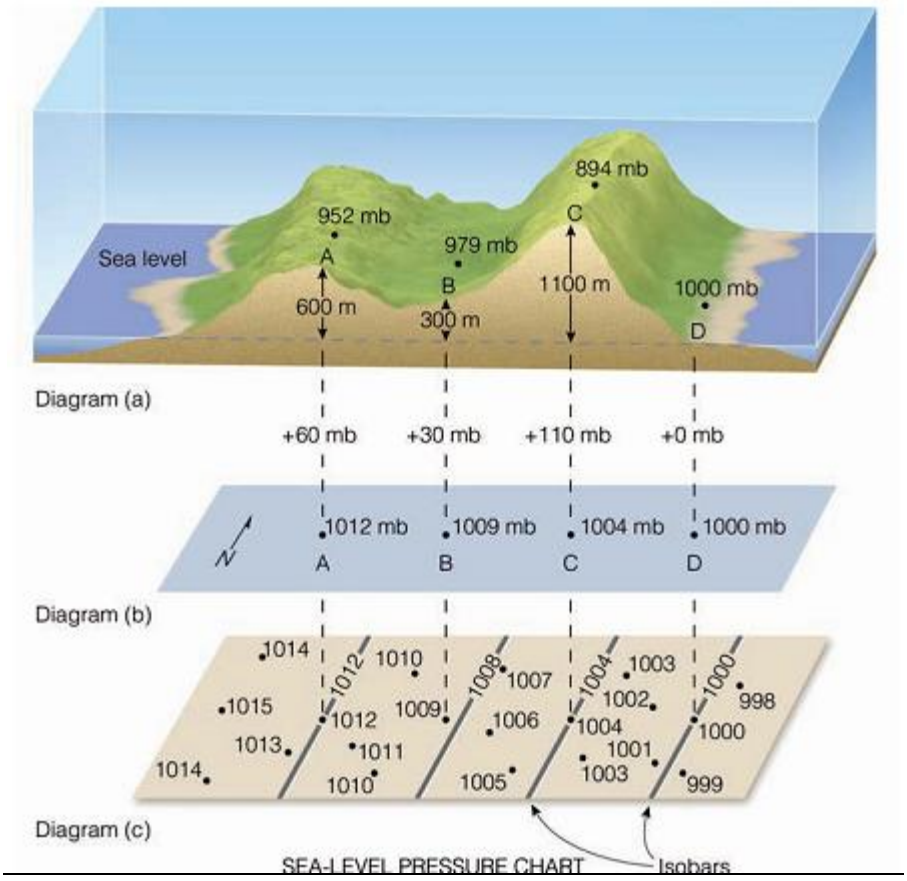


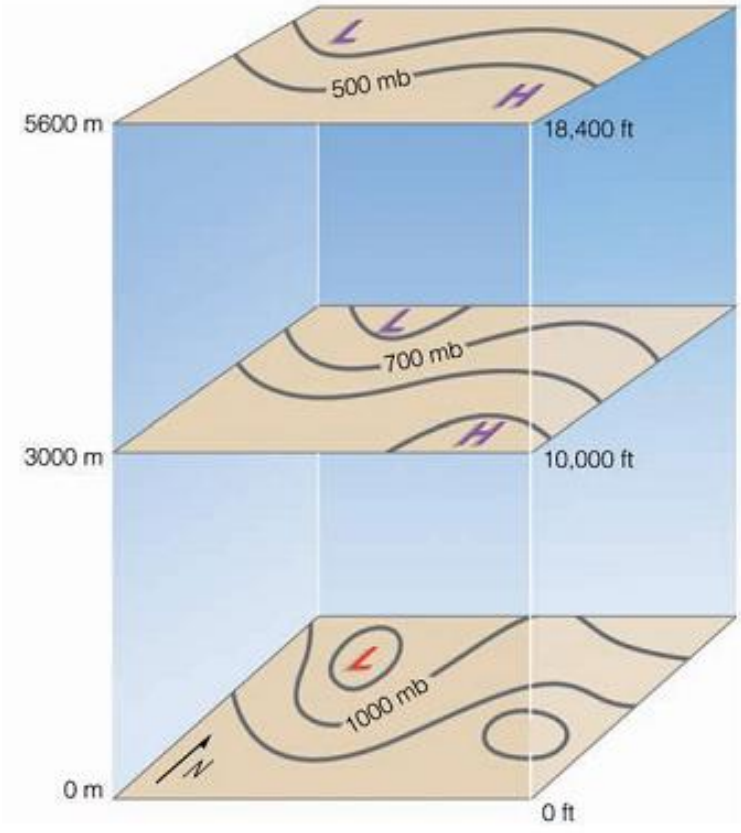


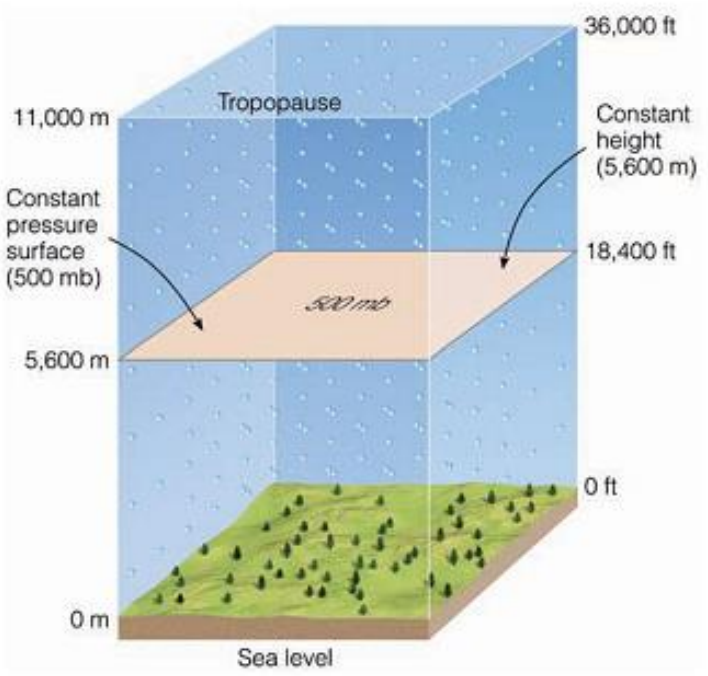

Millibars
1014
1012
1010
1008
1006
10:00 A.M.
4:00 P.M.
10:00 P.M.
4:00 A.M.
Sea-level pressure changes in middle latitudes on a given day
Millibars
1014
1012
1010
1008
1006
10:00 A.M.
4:00 P.M.
10:00 P.M.
4:00 A.M.
Average sea-level pressure changes in the tropics

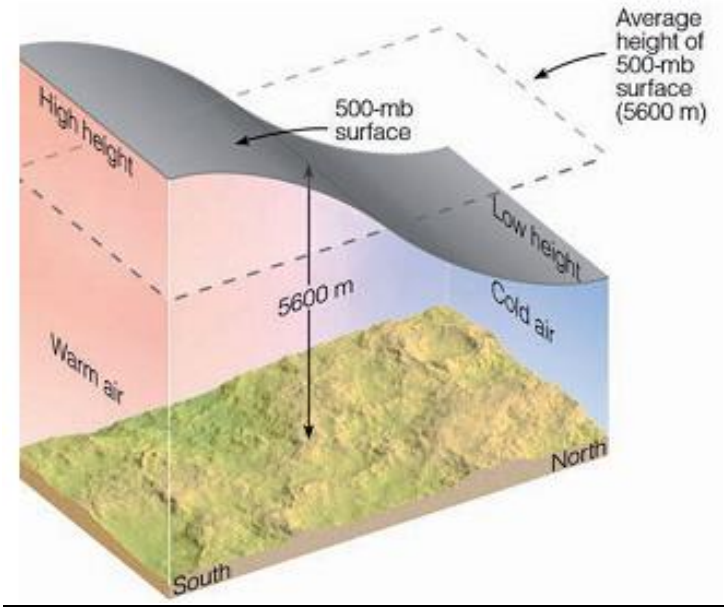

in. Hg
mb
32.78 1110
32.48 1100
32.19 1090
31.89 1080
31.60 1070
31.30 1060
31.00 1050
30.71 1040
30.42 1030
30.12 1020
29.82 1010
29.53 1000
29.24 990
28.94 980
28.64 970
28.35 960
28.05 950
27.76 940
27.46 930
27.17 920
26.87 910
26.58 900
26.28 890
25.99 880
25.69 870
25.40 860
25.10 850
1084 mb (32.01 in.) Highest recorded sea-level pressure: Agata, Siberia (December, 1968)
1064 mb (31.42 in.) Highest recorded sea-level pressure in the continental United States (excluding Alaska): Miles City, Montana (December, 1983)
Strong high-pressure system
1013.25 mb (29.92 in.) Standard sea-level pressure
Deep low-pressure system
Hurricane Katrina during landfall 920 mb (27.17 in.)
882 mb (26.04 in.) Hurricane Wilma (October, 2005)
870 mb (25.70 in.) Lowest recorded sea-level pressure: Typhoon Tip (October, 1979)

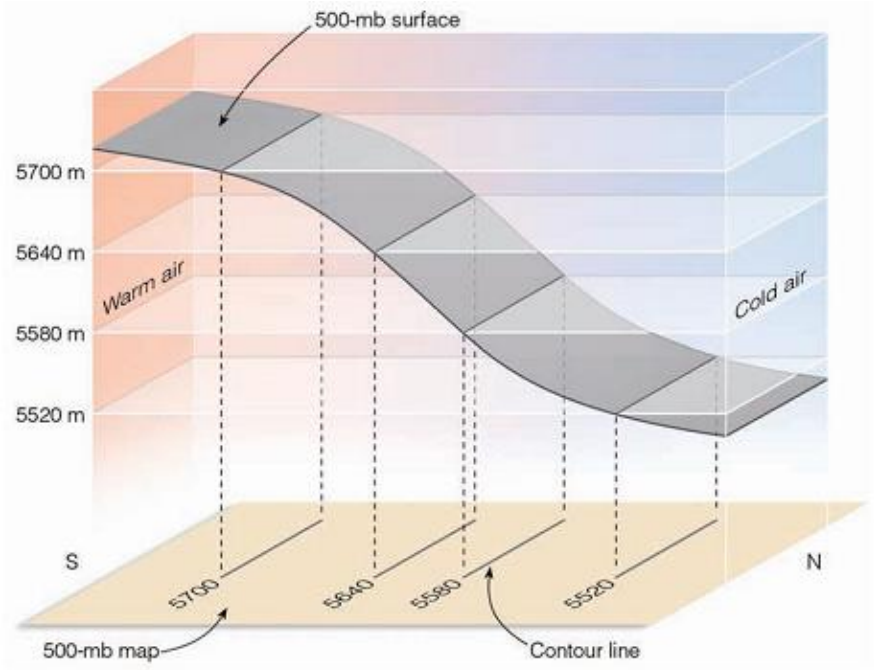

Vacuum
Glass tube
Mercury column
Height
76 cm (29.92 in.)
Air pressure
Air pressure
Mercury in dish

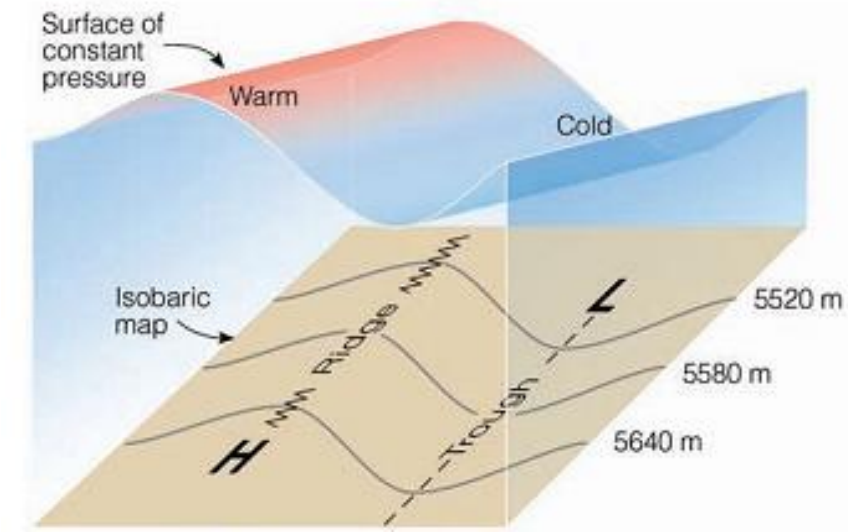

894 mb
952 mb
C
979 mb
Sea level
A
B
1100 m
1000 mb
600 m
300 m
D
Diagram (a)
+60 mb
+30 mb
+110 mb
+0 mb
1012 mb
1009 mb
1004 mb
1000 mb
A
B
C
D
Diagram (b)
1014
1012
1010
1008
1007
1004
1003
1000
1015
1012
1009
1006
1002
998
1013
1011
1004
1000
1001
1014
1010
1005
1003
999
Diagram (c)
SEA-LEVEL PRESSURE CHART
Isobars


L
500 mb
H
5600 m
18,400 ft
L
700 mb
H
3000 m
10,000 ft
L
1000 mb
0 m
0 ft

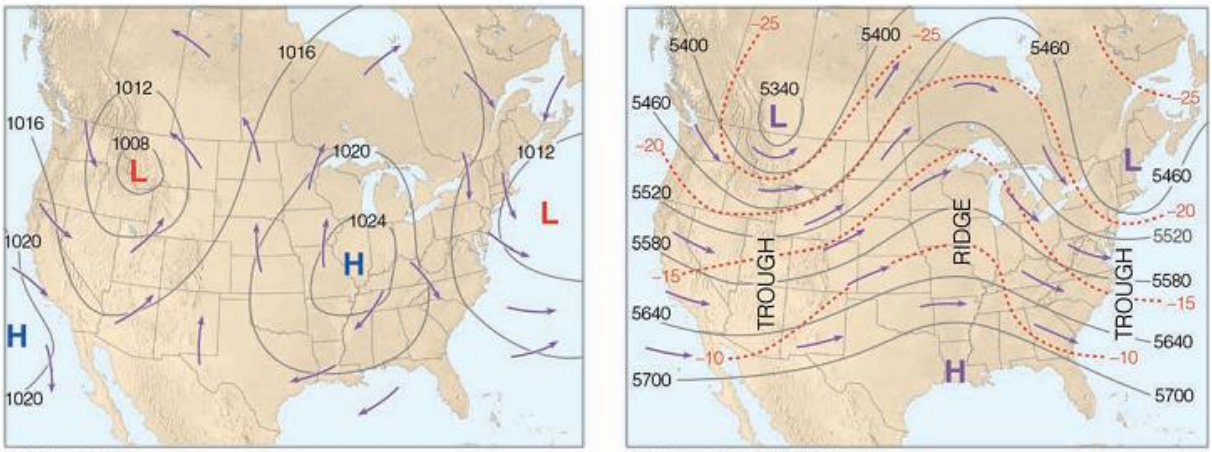

36,000 ft
Tropopause
11,000 m
Constant height (5,600 m)
Constant pressure surface (500 mb)
18,400 ft
500 mb
5,600 m
0 ft
0 m
Sea level

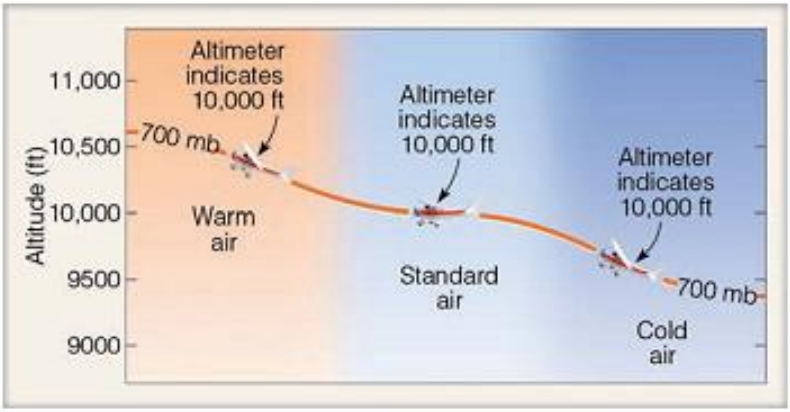

Average height of 500-mb surface (5600 m)
500-mb surface
High height
Low height
5600 m
Cold air
Warm air
North
South



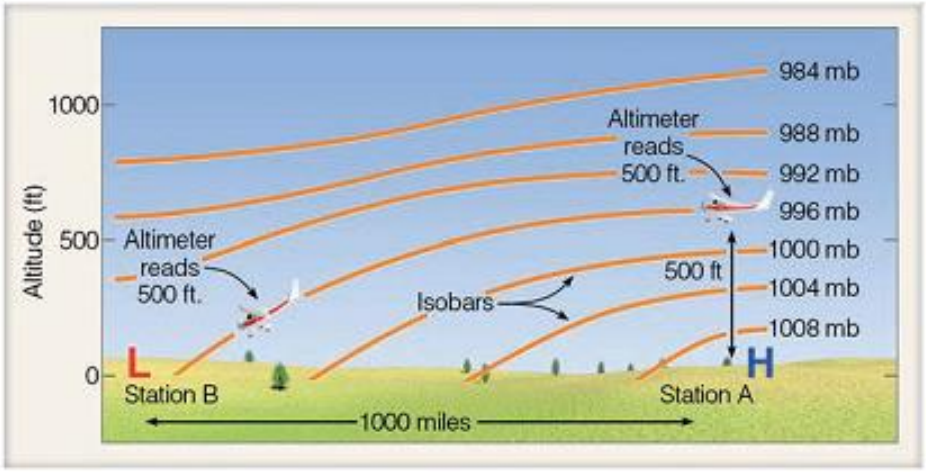


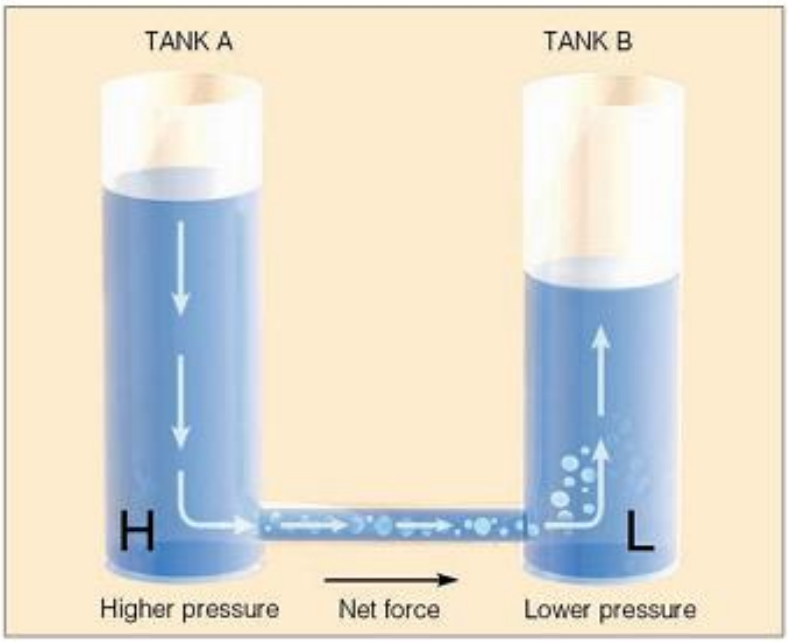
ISOBARIC SURFACE (MB) CHARTS	APPROXIMATE ELEVATION (M)	(FT)
1000	120	400
850	1,460	4,800
700	3,000	9,800
500	5,600	18,400
300	9,180	30,100
200	11,800	38,700
100	16,200	53,200

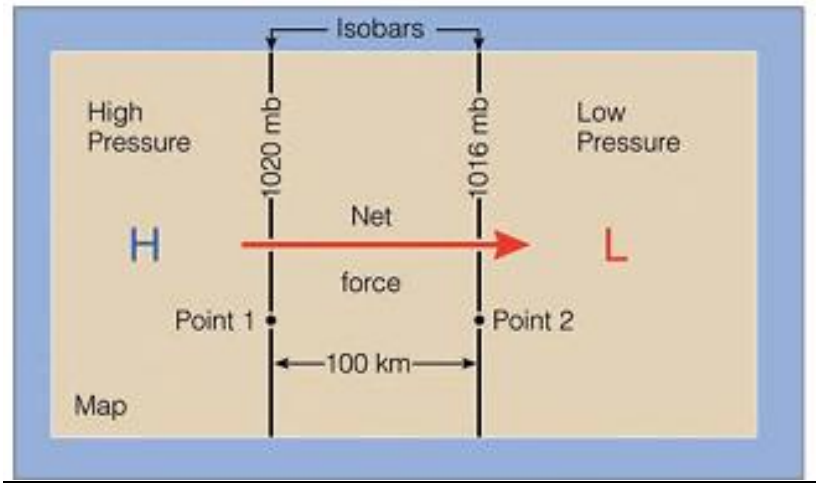


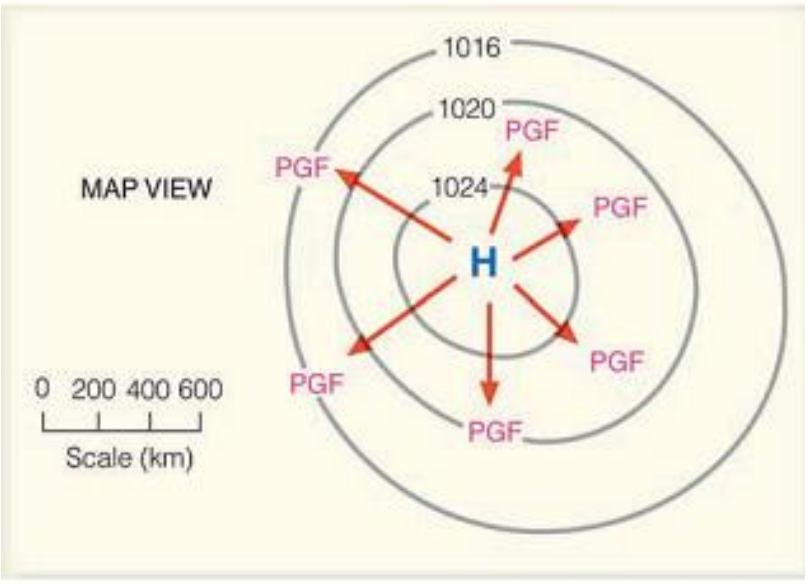


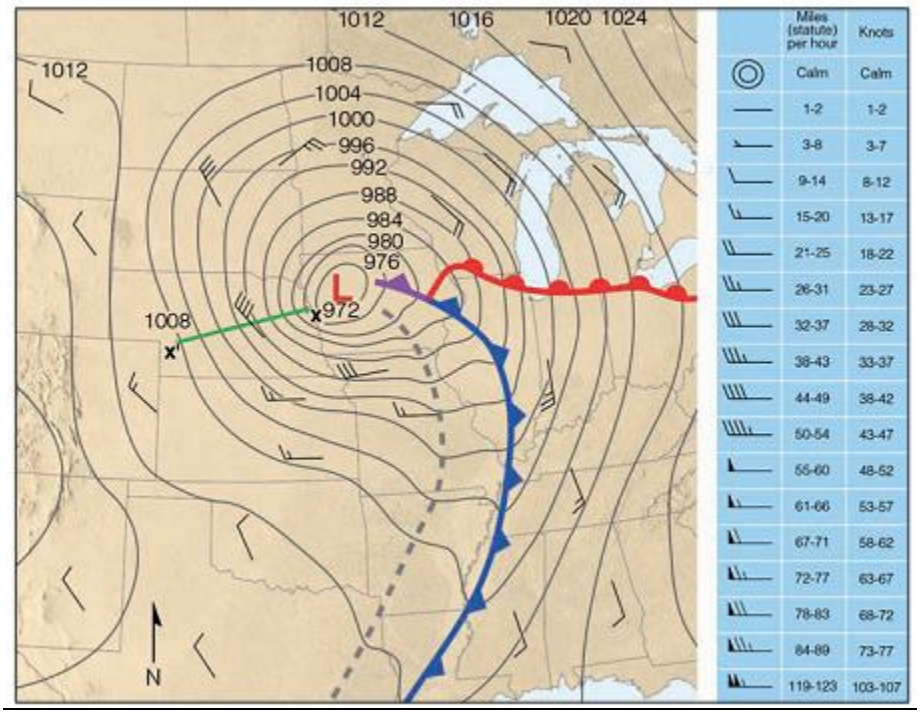
• FIGURE 2
An aircraft flying along a surface of constant pressure (orange line) may change altitude as the air temperature changes. Without being corrected for the temperature change, a pressure altimeter will continue to read the same elevation.

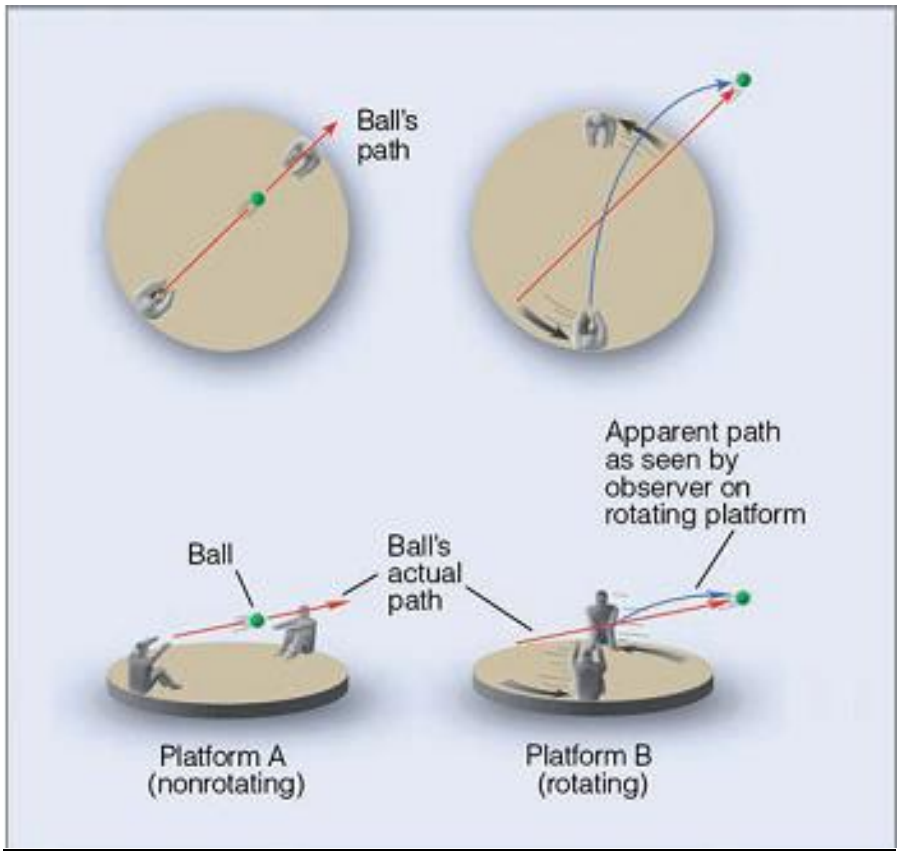


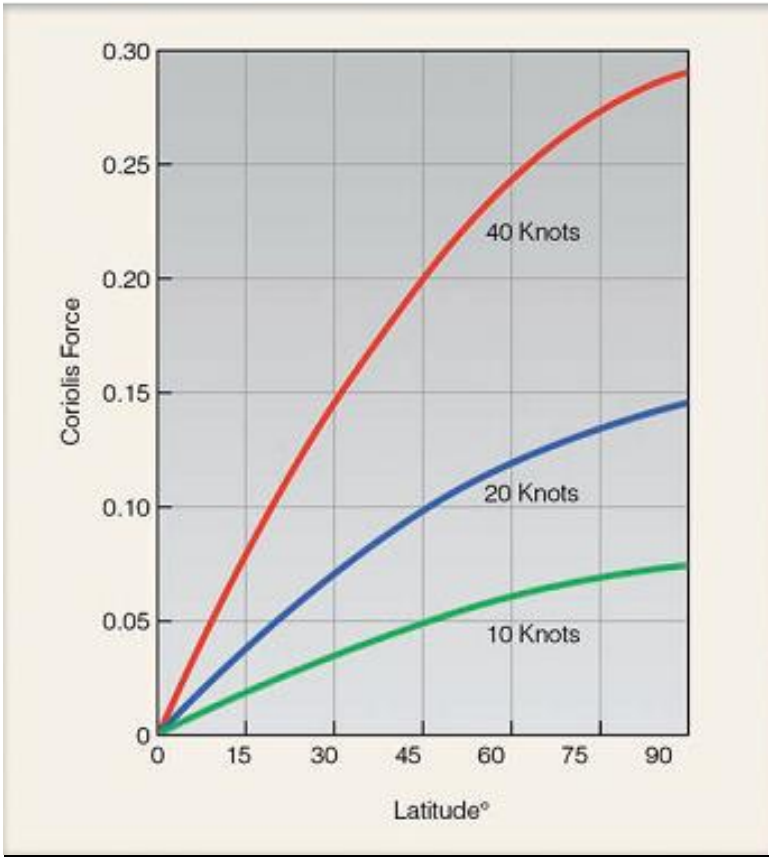

TANK A
TANK B
H
L
Higher pressure
Net force
Lower pressure

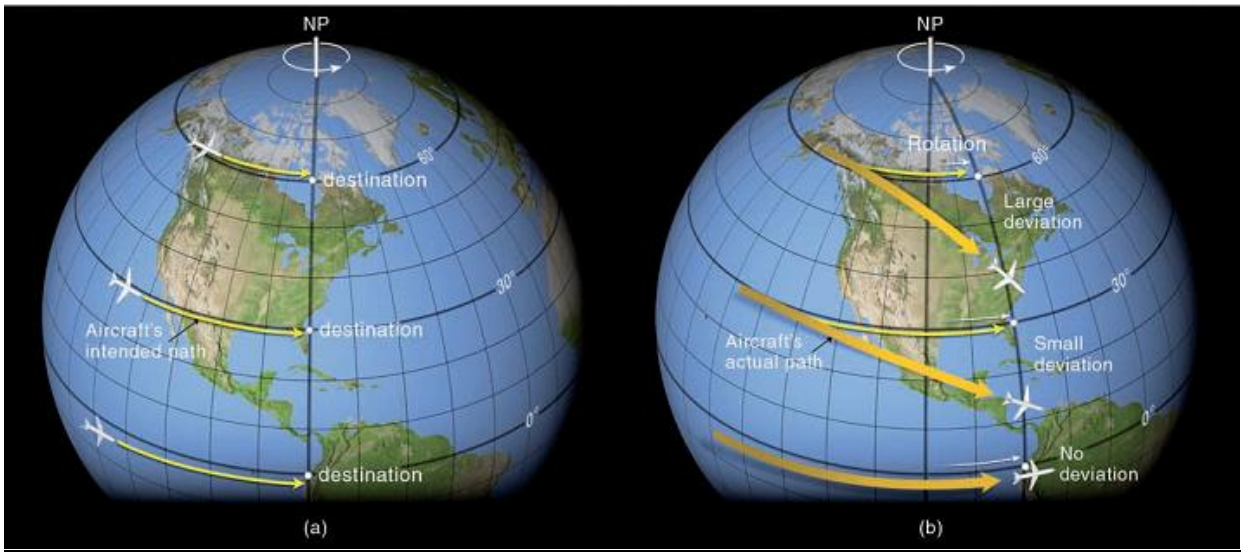

Isobars
High Pressure
1020 mb
1016 mb
Low Pressure
Net
H
L
force
Point 1
Point 2
100 km
Map

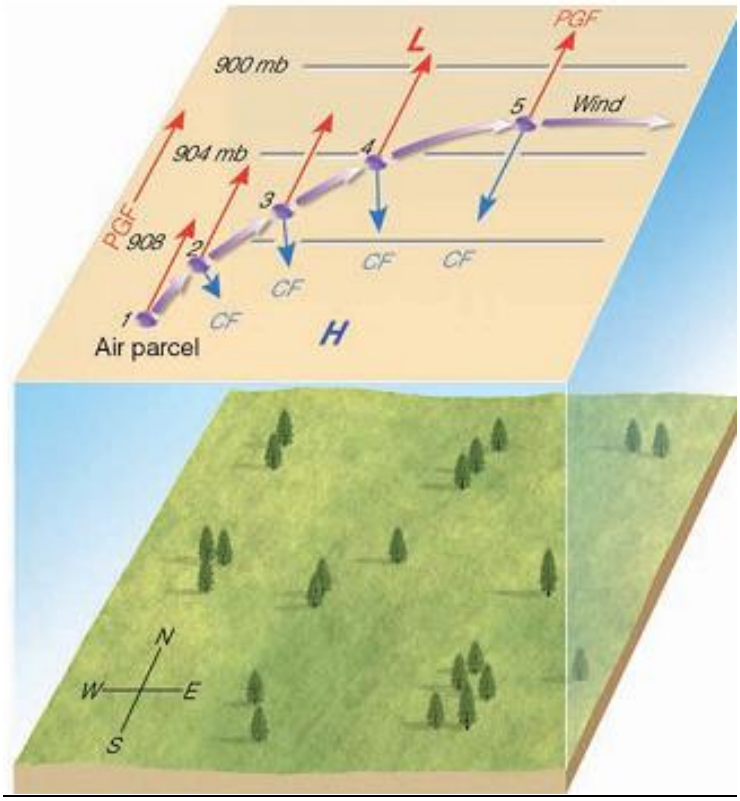

1016
1020
PGF
PGF
MAP VIEW
1024
PGF
H
PGF
PGF
PGF
0 200 400 600
Scale (km)

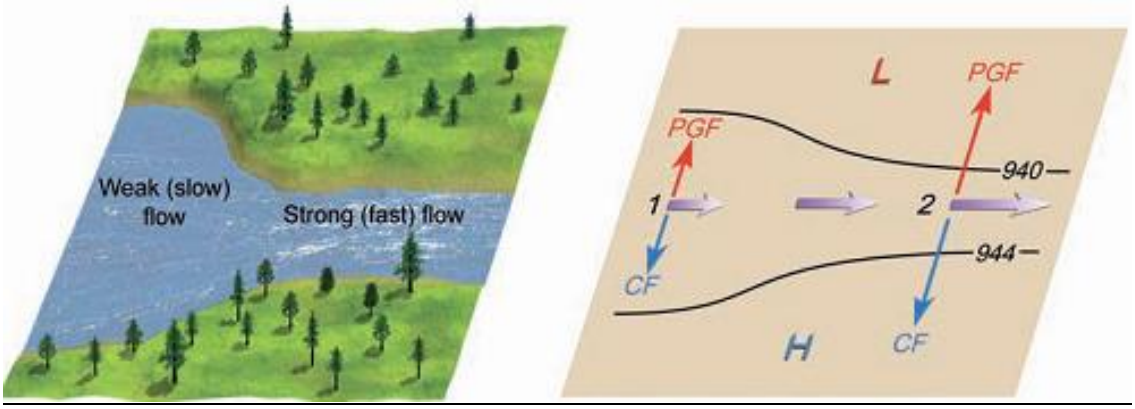

1012
1016
1020
1024
1008
1004
1000
996
992
988
984
980
976
L
972
1008
x
x'
N
Miles (statute) per hour
Knots
Calm
Calm
1-2
1-2
3-8
3-7
9-14
8-12
15-20
13-17
21-25
18-22
26-31
23-27
32-37
28-32
38-43
33-37
44-49
38-42
50-54
43-47
55-60
48-52
61-66
53-57
67-71
58-62
72-77
63-67
78-83
68-72
84-89
73-77
119-123
103-107

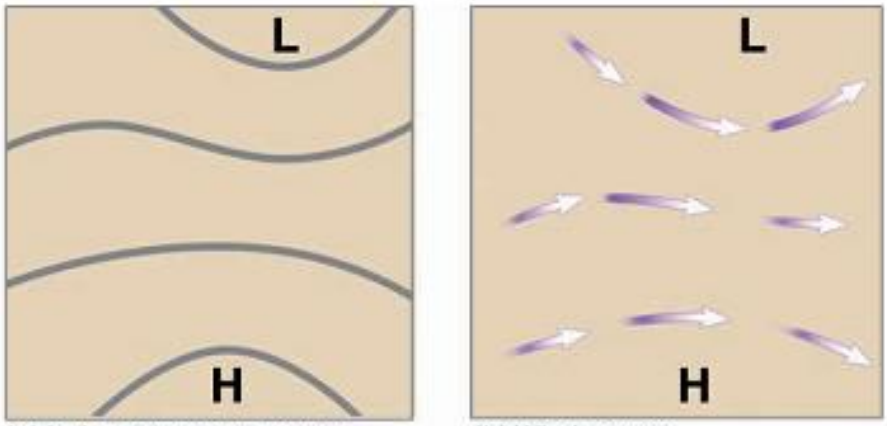

Ball's path
Apparent path as seen by observer on rotating platform
Ball
Ball's actual path
Platform A (nonrotating)
Platform B (rotating)


0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0
Coriolis Force
40 Knots
20 Knots
10 Knots
0
15
30
45
60
75
90
Latitude°

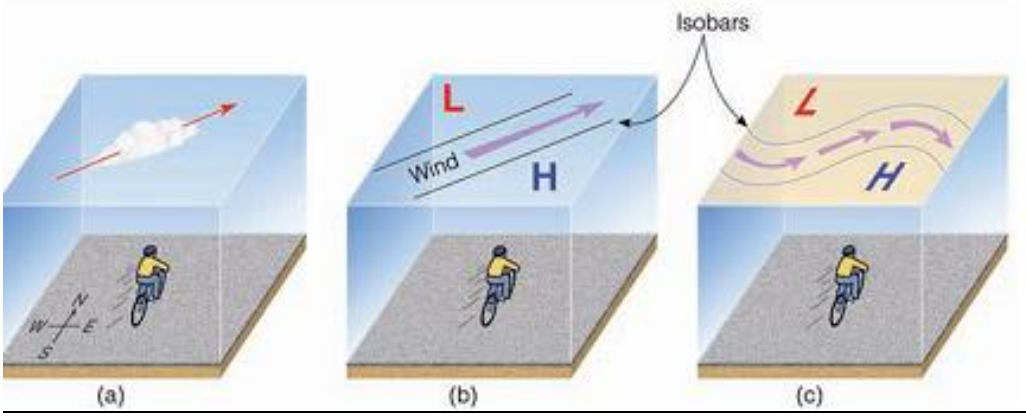

NP
destination
Aircraft's intended path
destination
destination
(a)
NP
Rotation
Large deviation
Aircraft's actual path
Small deviation
No deviation
(b)

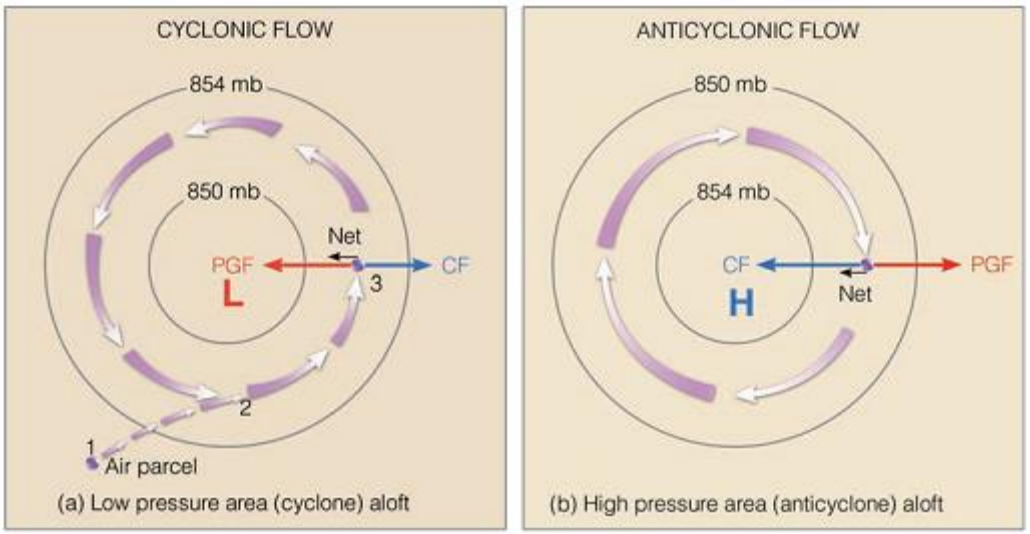

900 mb
904 mb
908
PGF
L
PGF
5
Wind
4
3
2
1
CF
CF
CF
CF
CF
Air parcel
H
N
W
E
S


Weak (slow) flow
Strong (fast) flow
L
PGF
PGF
940
1
2
944
CF
H
CF

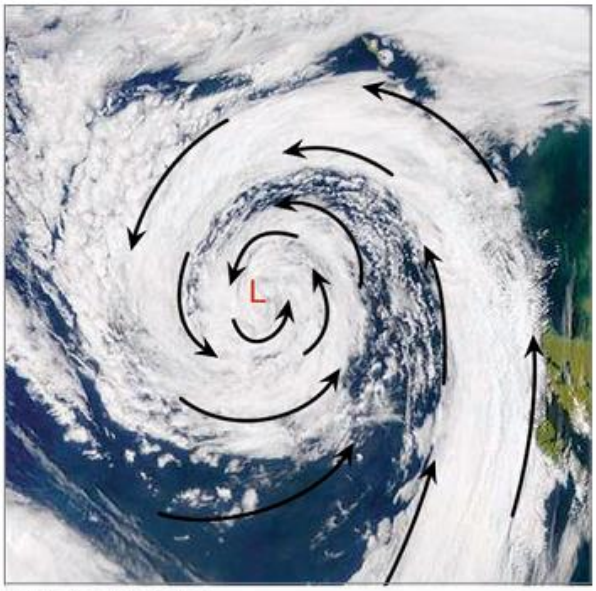


(a) Isobar or contour pattern (b) Wind pattern

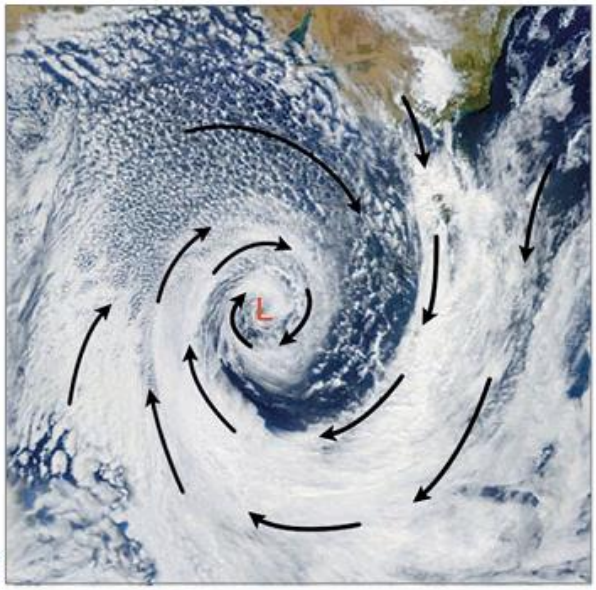




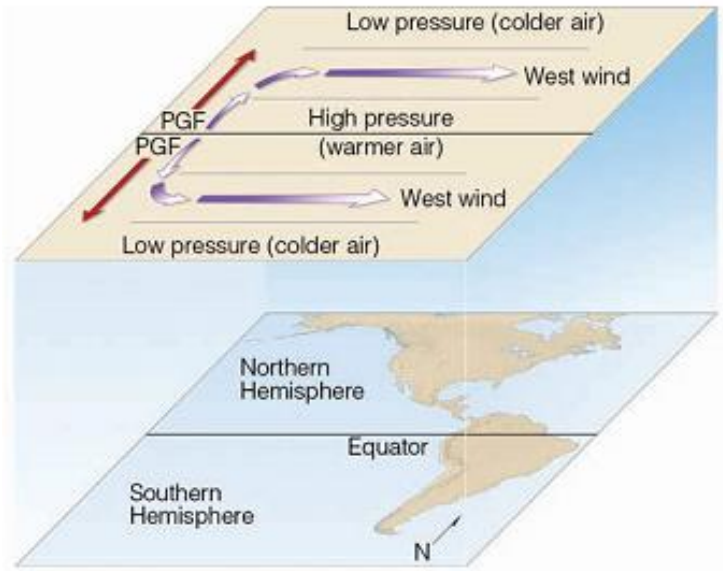
(a) Low pressure area (cyclone) aloft (b) High pressure area (anticyclone) aloft

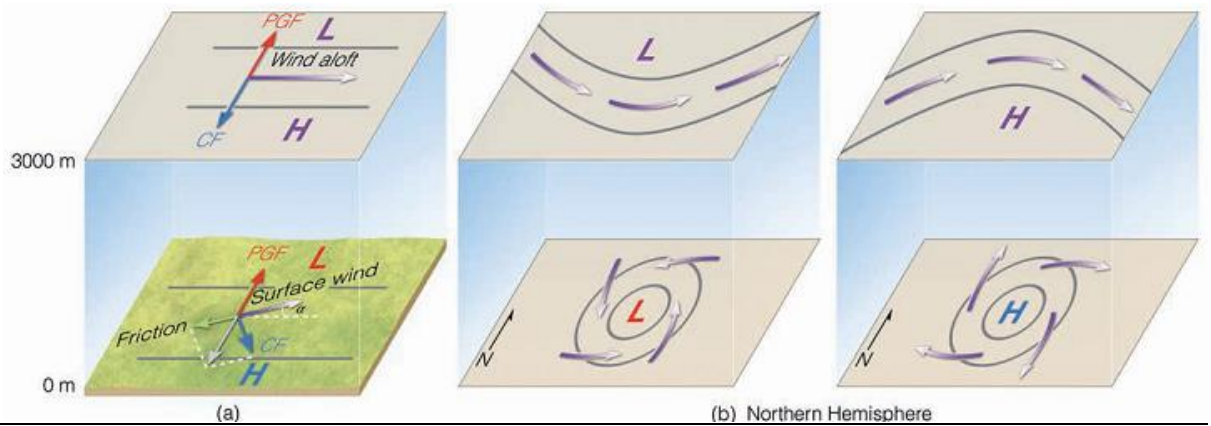


(a) Northern Hemisphere

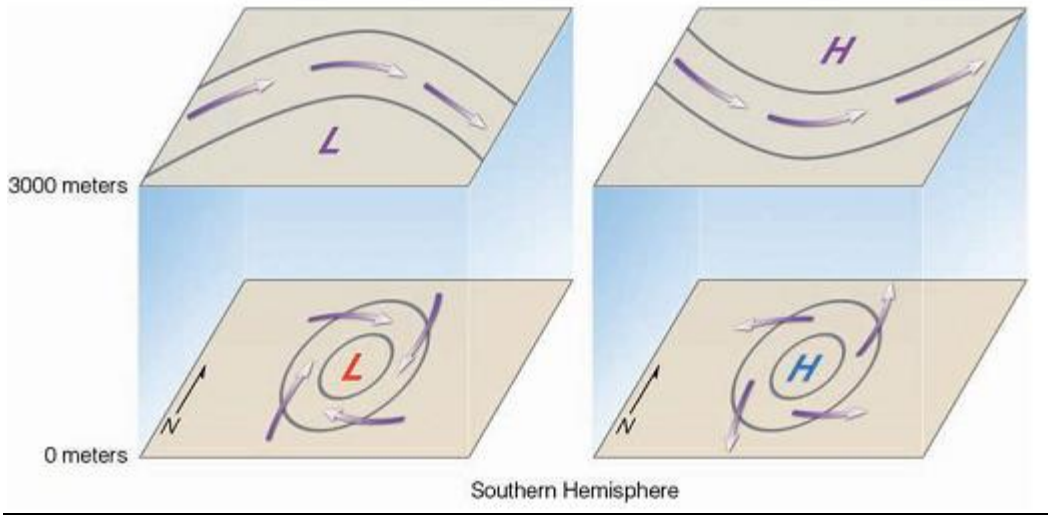


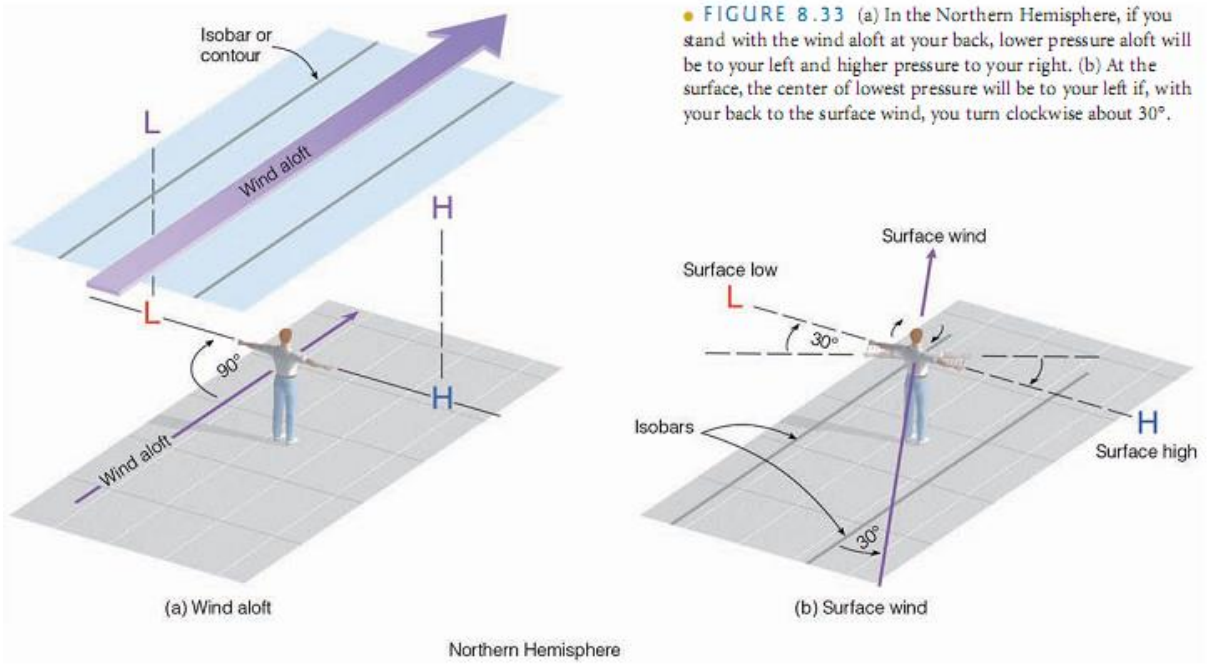
(b) Southern Hemisphere



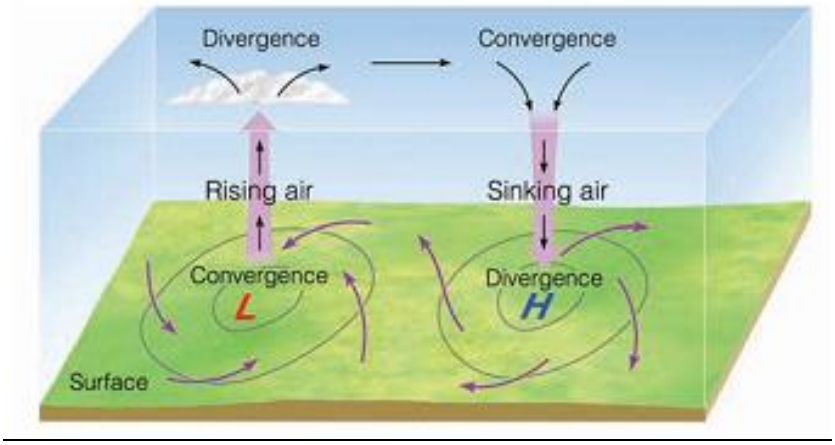


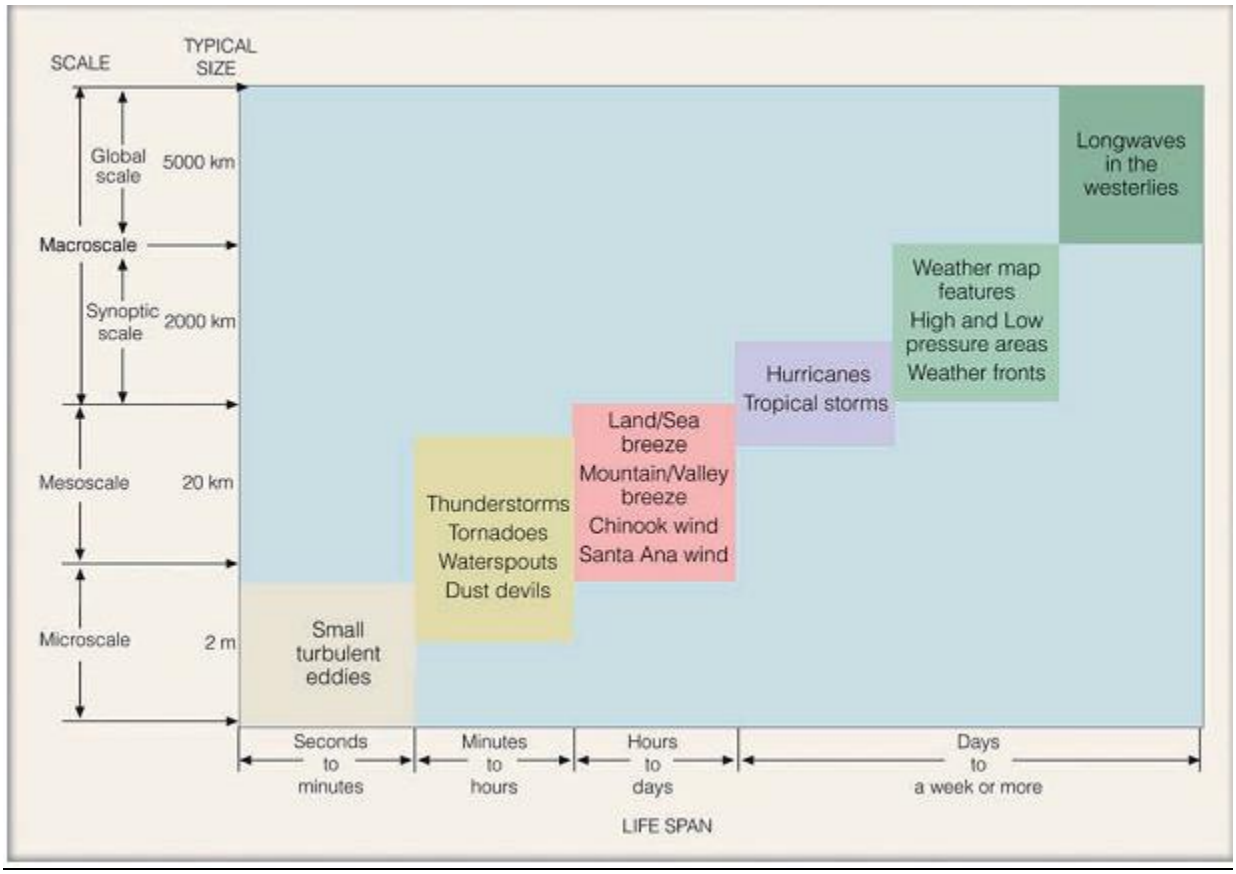
(a) (b) Northern Hemisphere





• FIGURE 8.33 (a) In the Northern Hemisphere, if you stand with the wind aloft at your back, lower pressure aloft will be to your left and higher pressure to your right. (b) At the surface, the center of lowest pressure will be to your left if, with your back to the surface wind, you turn clockwise about 30°.


Divergence
Convergence
Rising air
Sinking air
Convergence
L
Divergence
H
Surface


SCALE
TYPICAL SIZE
Global scale
5000 km
Macroscale
Synoptic scale
2000 km
Mesoscale
20 km
Microscale
2 m
Longwaves in the westerlies
Weather map features
High and Low pressure areas
Weather fronts
Hurricanes
Tropical storms
Land/Sea breeze
Mountain/Valley breeze
Chinook wind
Santa Ana wind
Thunderstorms
Tornadoes
Waterspouts
Dust devils
Small turbulent eddies
Seconds to minutes
Minutes to hours
Hours to days
Days to a week or more
LIFE SPAN

****