

The background features a large, glowing blue and white Earth in the upper right, and a large, brown and grey Moon in the lower left. The sky is a gradient of dark blue, purple, and orange.

# General Atmospheric Sciences

Energy: Warming the Earth and the Atmosphere

林沛練

國立中央大學大氣科學系

Reference : Meteorology Today



# Energy, Temperature, and Heat

# Energy

## ◎ 定義:

- **Energy** (能量) 是對任何形式的物質做功的能力 (任何擁有質量及佔有空間的物質.)

■ For example

■ 位能

$$PE = mgh$$

■ 動能

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

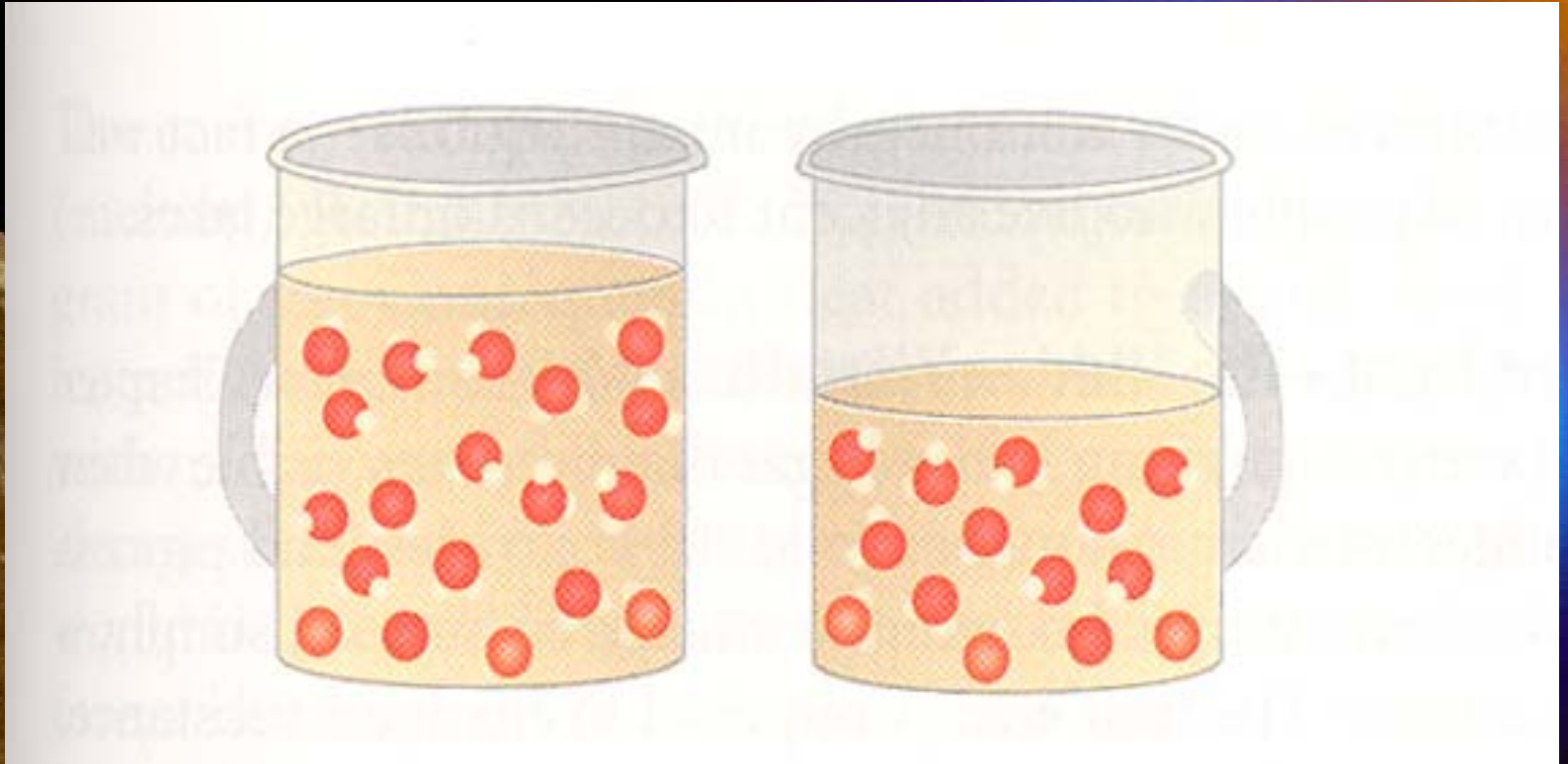
- 能量無法被創造及被消滅  
=> 即“熱力學第一定律”

# Temperature

## ◎ 定義:

- **Temperature** (溫度) 是測量分子及原子平均速度的單位，較高的溫度代表較快的平均速度。
- 若我們加熱彈性氣球中的空氣，則分子會運動的更快，導致空氣密度降低。若我們冷卻氣球中的空氣，則其運動速度會減慢，因而擠在一起使密度增加。
  - Warm => less-dense air
  - Cold => more-dense air

# Temperature



即使杯中飲料的溫度相同，但因左邊的杯子含有較多的分子，故其擁有較多的內能。

# Temperature

## 溫度的尺度

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32),$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.$$

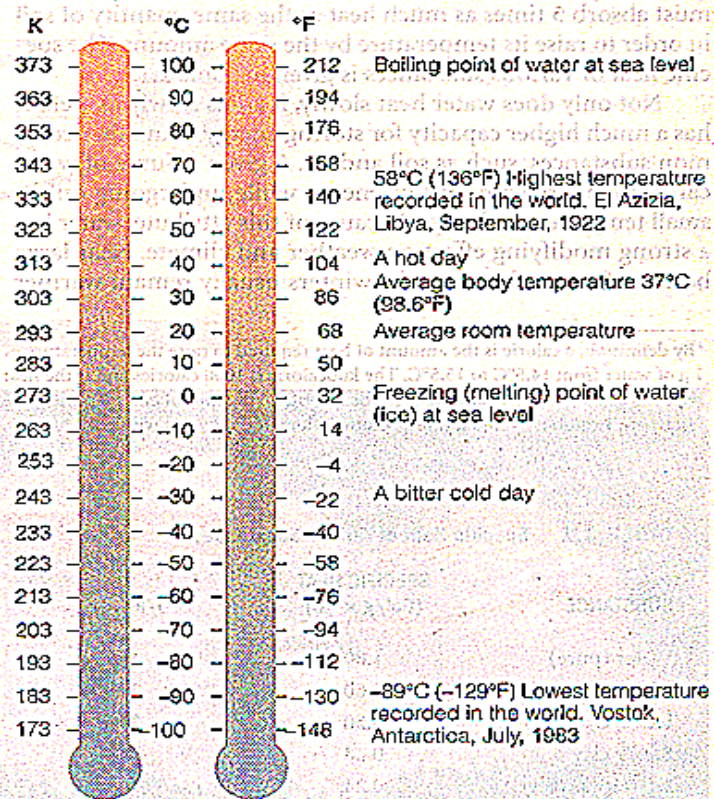
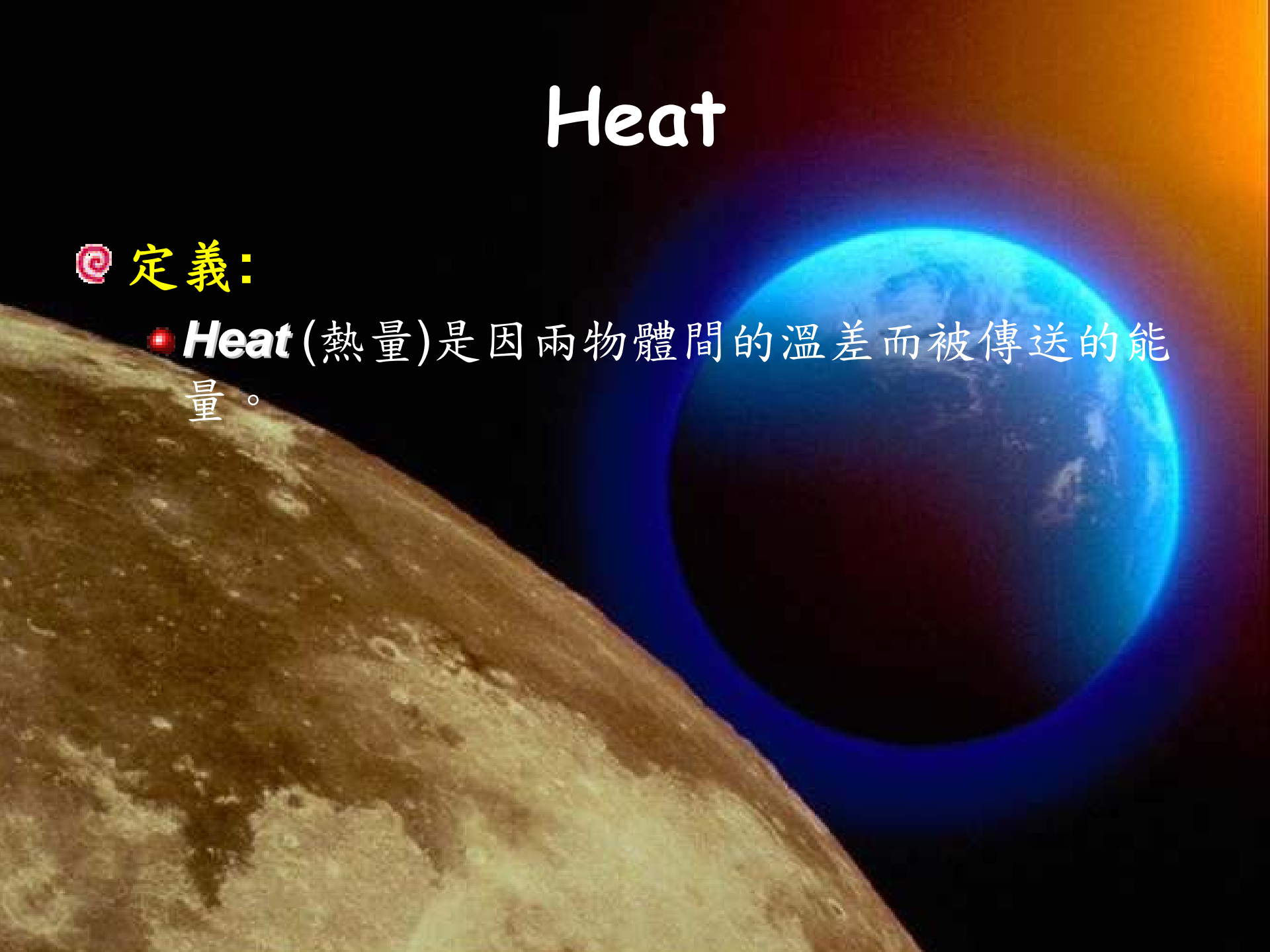


FIGURE 2.2  
Comparison of Fahrenheit, Celsius, and Kelvin scales.

# Heat

## ◎ 定義:

● **Heat** (熱量) 是因兩物體間的溫差而被傳送的能量。



# Heat

## ◎ 熱容量

**TABLE 2.1 Specific Heat of Various Substances**

| 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       |

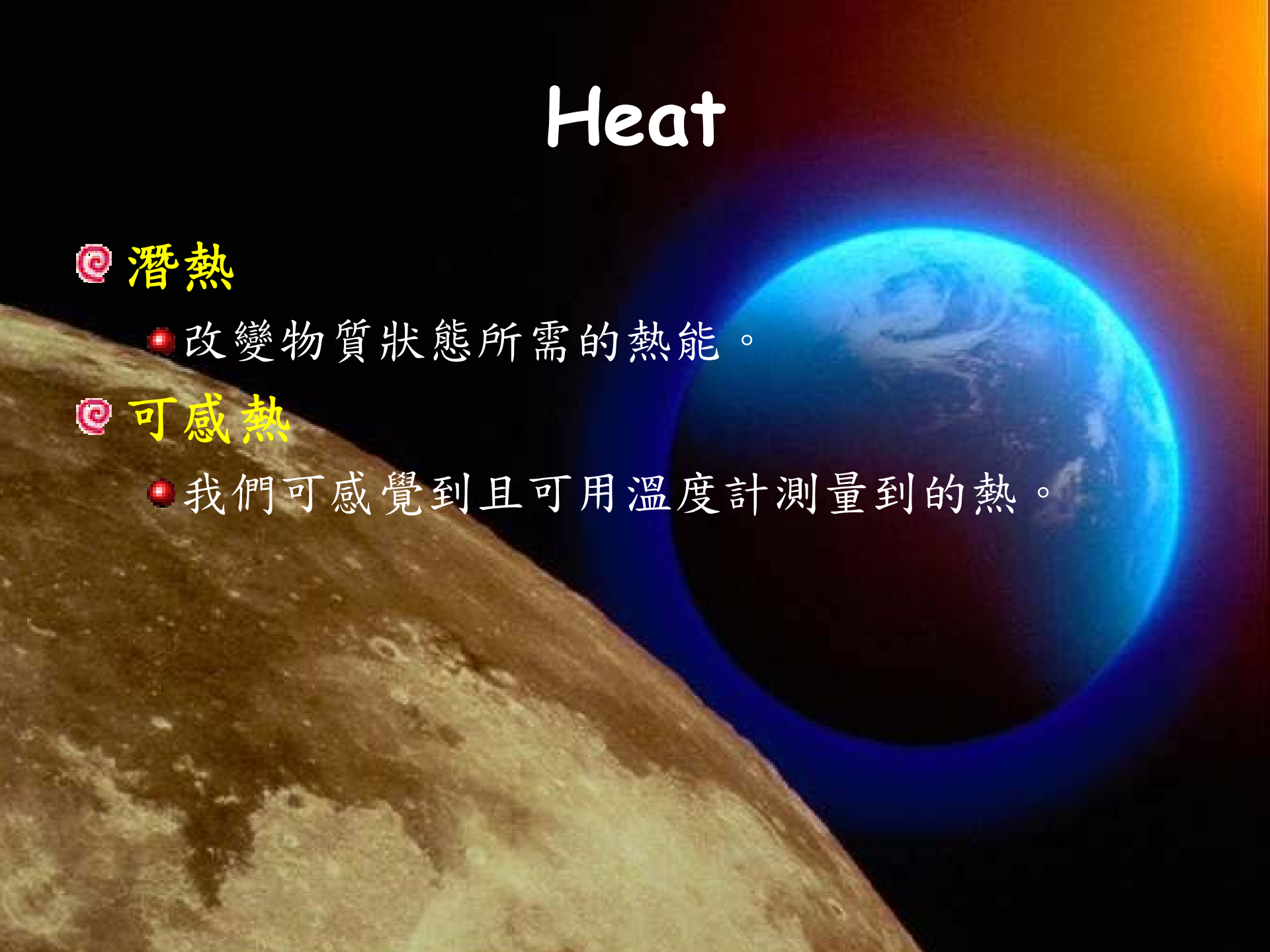
# Heat

## ◎ 潛熱

- 改變物質狀態所需的熱能。

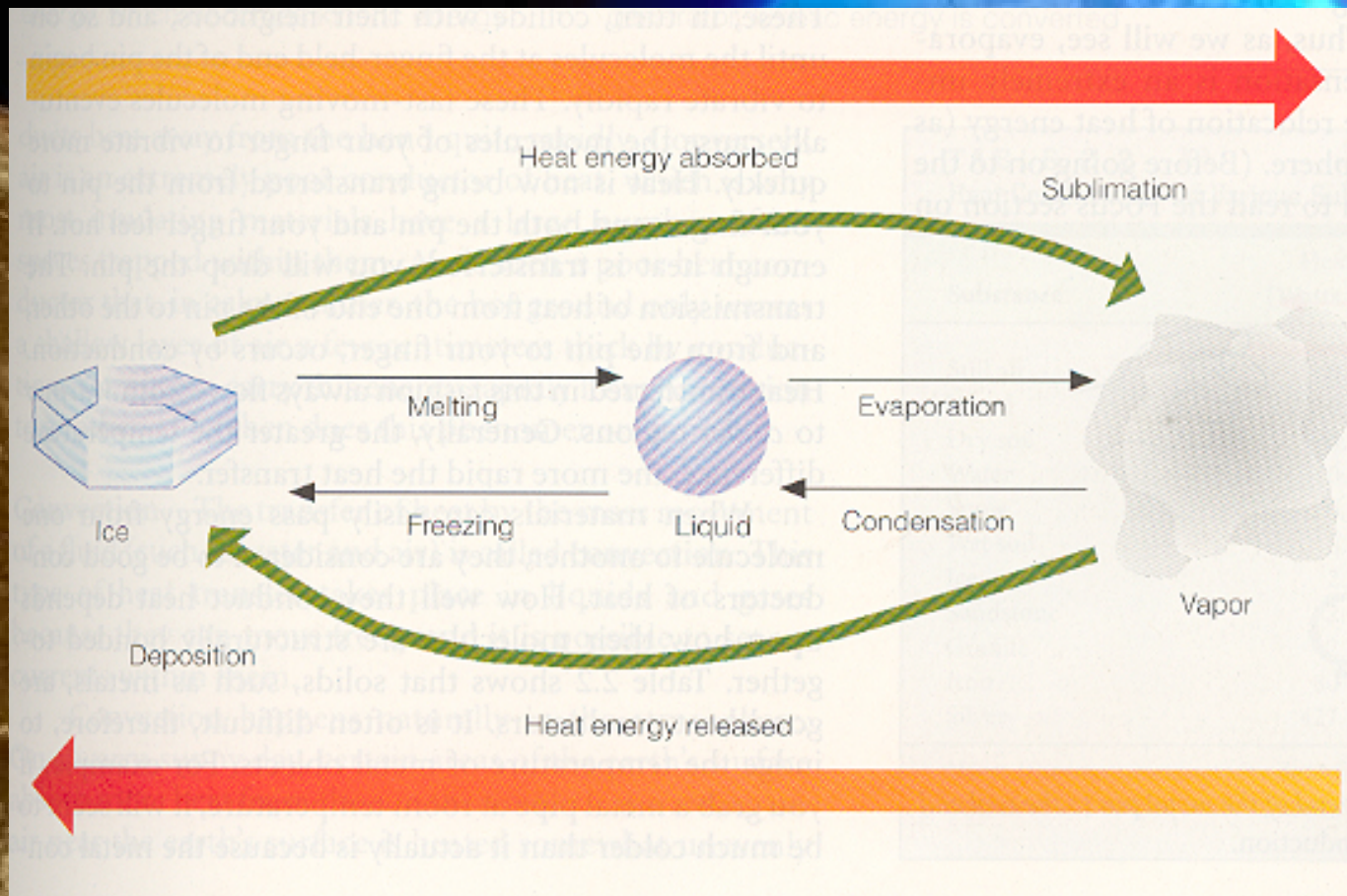
## ◎ 可感熱

- 我們可感覺到且可用溫度計測量到的熱。



# Heat

## ◎ 熱能的吸收與釋放



# Heat Transfer in the Atmosphere

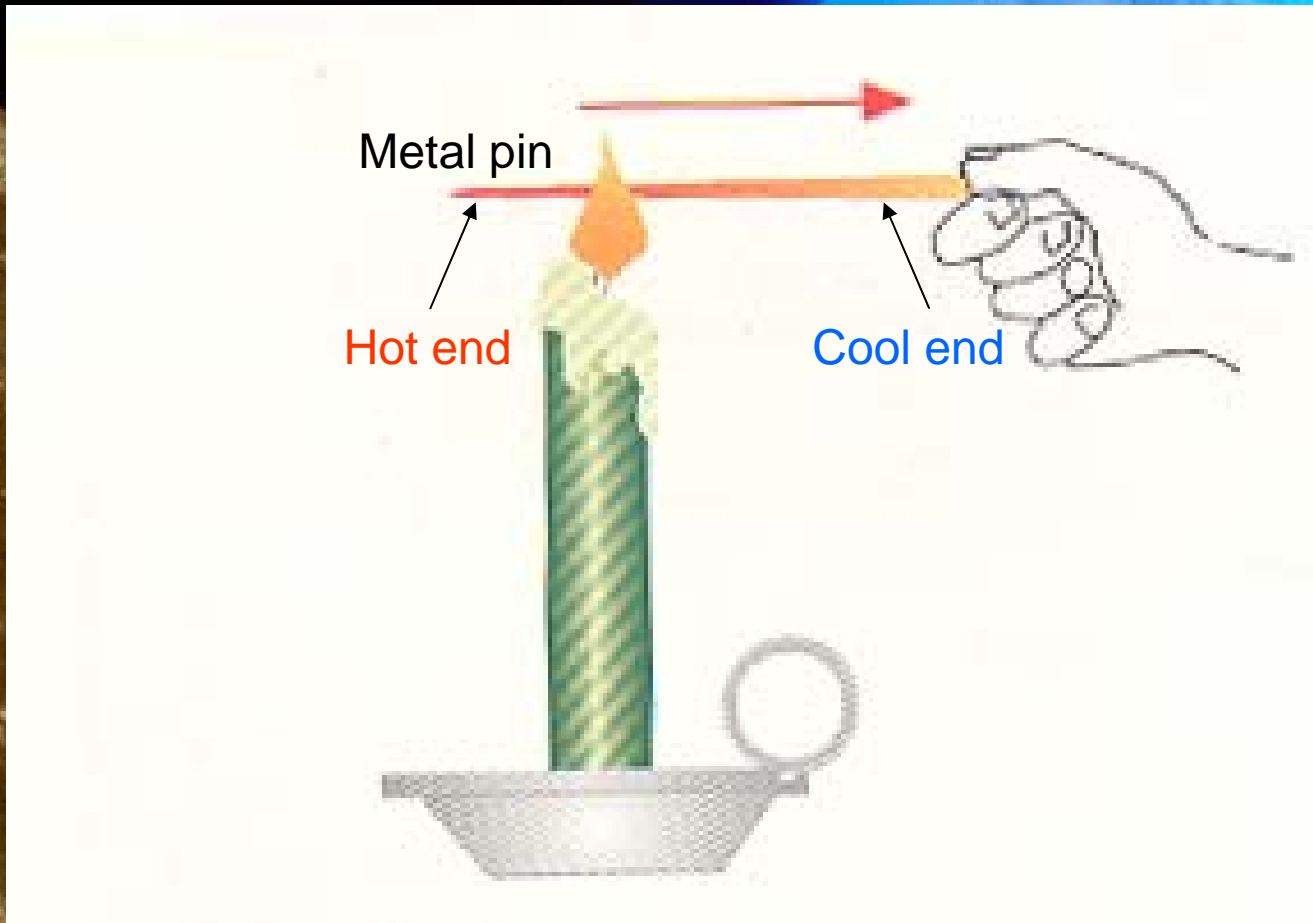




當雲生成時，會加熱大氣。事實上，僅一個風暴(storm)存在期間，其內部釋放的熱能比一個小核子炸彈還多。

# 傳導 (Conduction)

◎ 一物體中，分子與分子間熱量的傳遞稱為傳導。



# 傳導 (Conduction)

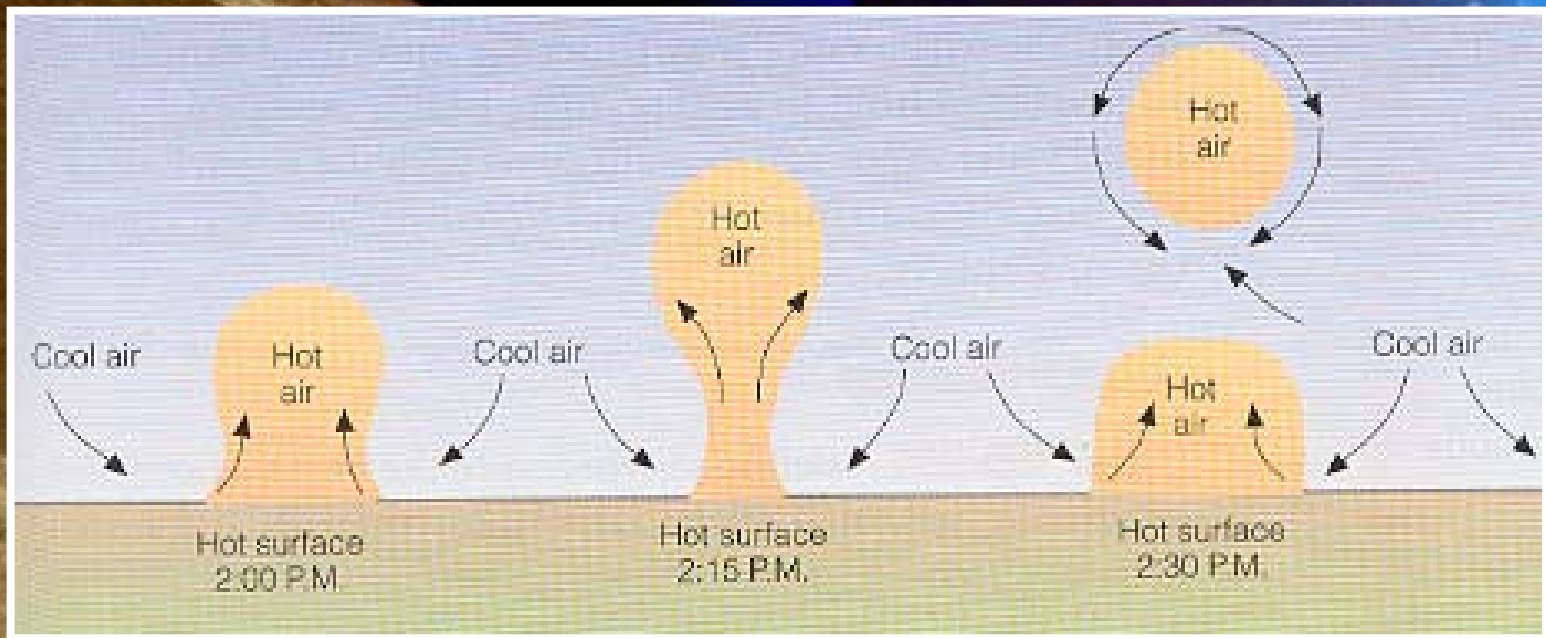
**TABLE 2.2 Heat Conductivity\* of Various Substances**

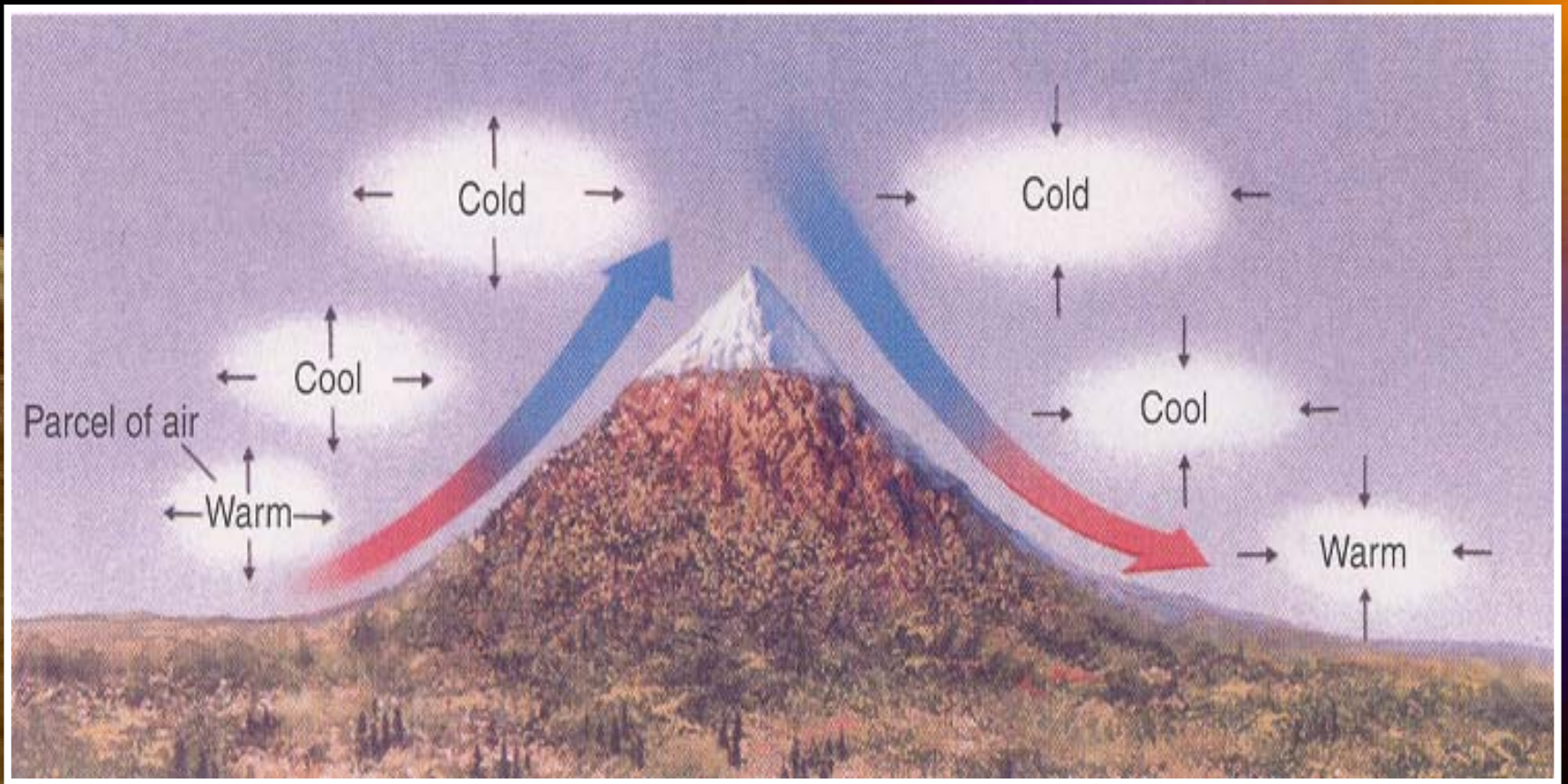
| SUBSTANCE | HEAT CONDUCTIVITY<br>(Watts per meter per °C) |
|-----------|---|
| Still air | 0.023 (at 20°C)                               |
| Wood      | 0.08  |
| Dry soil  | 0.25  |
| Water     | 0.60 (at 20°C)                                |
| Snow      | 0.63  |
| Wet soil  | 2.1   |
| Ice       | 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.

# 對流(Convection)

- ◎ 由流體質量的移動來傳送熱量稱為對流。
- ◎ 在氣象上，垂直方向熱的交換稱為對流。
- ◎ 而上升的空氣包則稱為**thermals**。





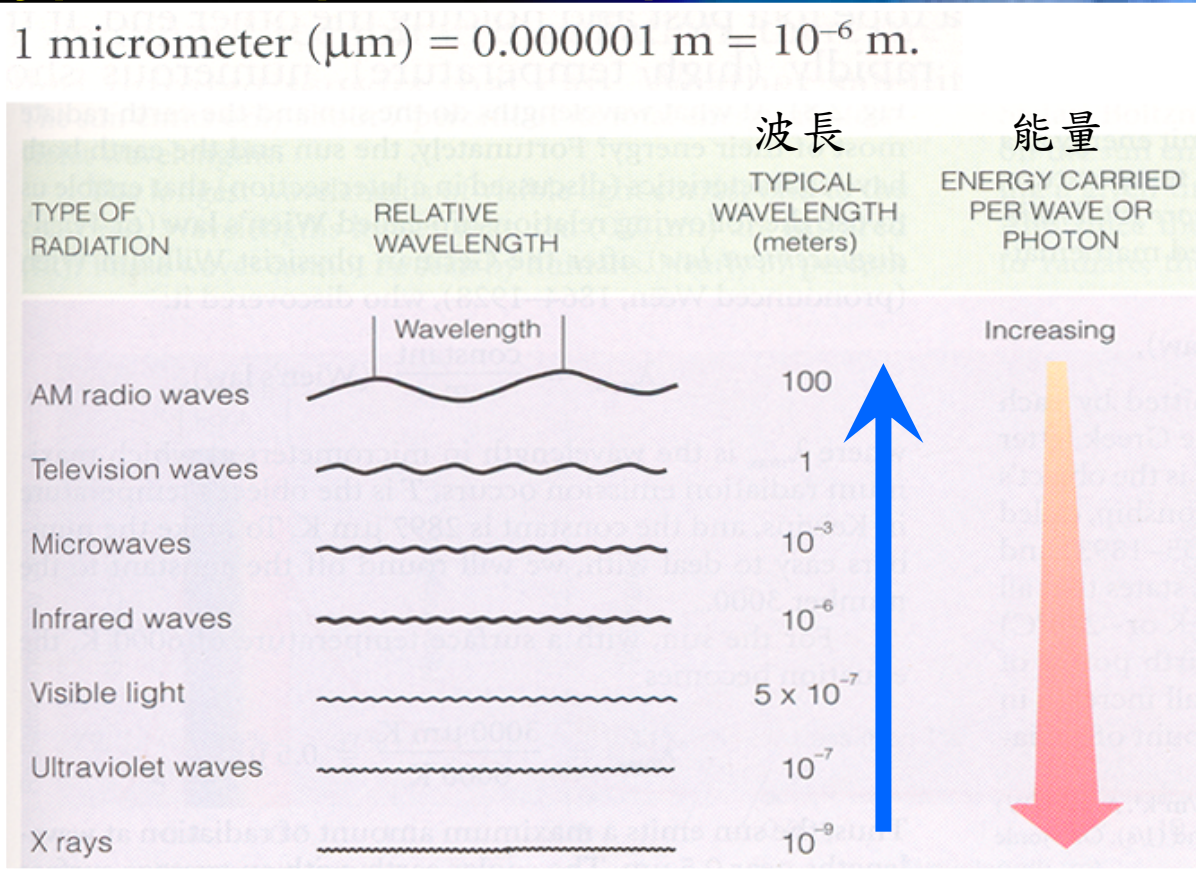
上升空氣膨脹冷卻，下降空氣壓縮增溫。

# Brief Review

- ① 一物體的溫度代表其分子與原子的平均動能(平均速度)。
- ② 蒸發(液態變氣態)是空氣冷卻的過程，而凝結則是一個增溫的過程(氣態變液態)。
- ③ 熱量是當兩物體有溫差時所傳送的能量。
- ④ 傳導是由分子間的接觸來傳遞熱量，熱量總是從高溫處傳到低溫處。
- ⑤ 空氣對熱的傳導性不佳。
- ⑥ 對流對於熱的傳送是很重要的，且其意味著垂直運動上：暖空氣上升，冷空氣下降。

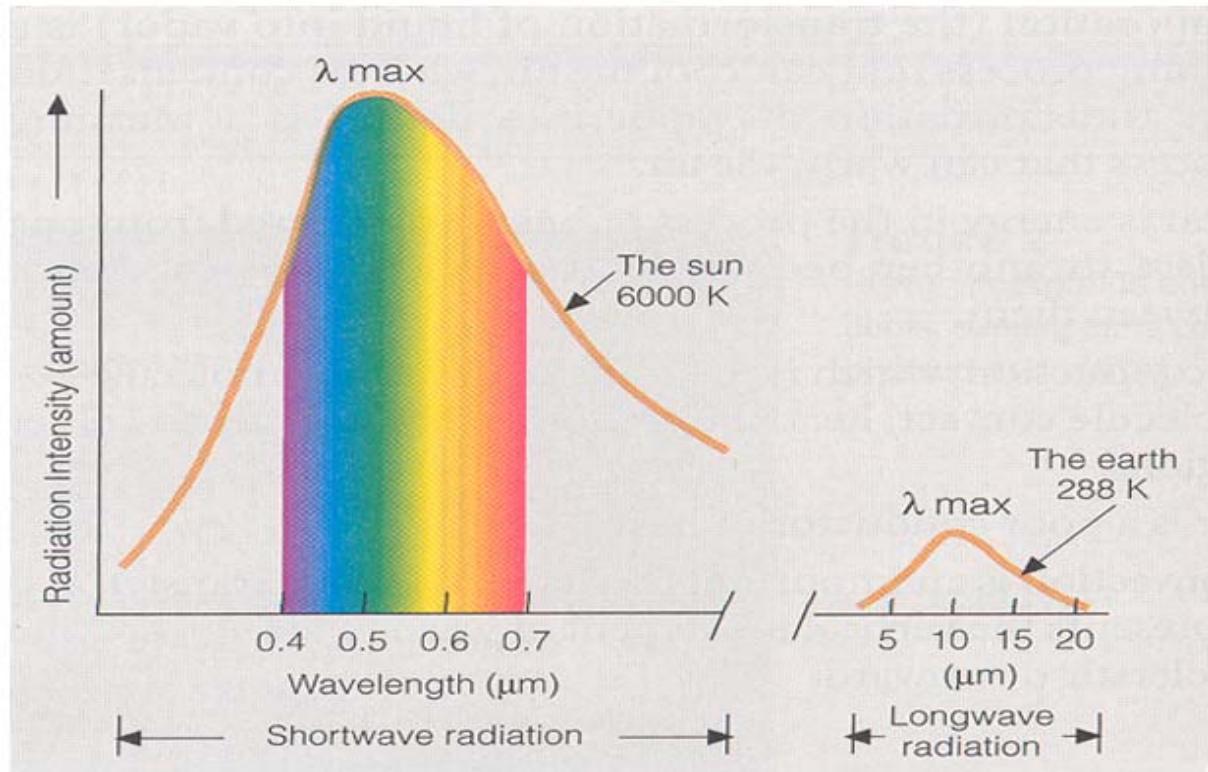
# 輻射(Radiation)

☉ 從太陽傳到你臉上的能量稱為輻射能(radiant energy)或輻射(radiation)



# 輻射(Radiation)

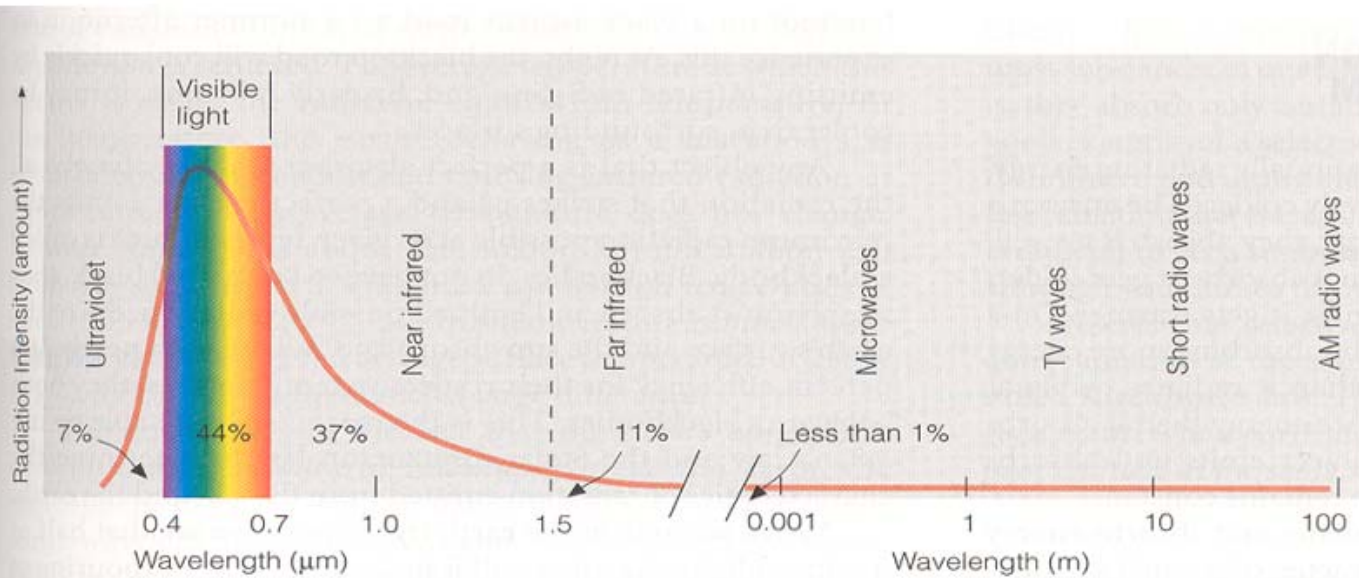
$$E = \sigma T^4 \quad (\text{Stefan-Boltzmann law}),$$



太陽與地球發射的能量=>太陽不僅發射比地球更多的能量，且其發射的電磁波主要都是短波。(曲線下的面積為發射的總能量)

# 輻射(Radiation)

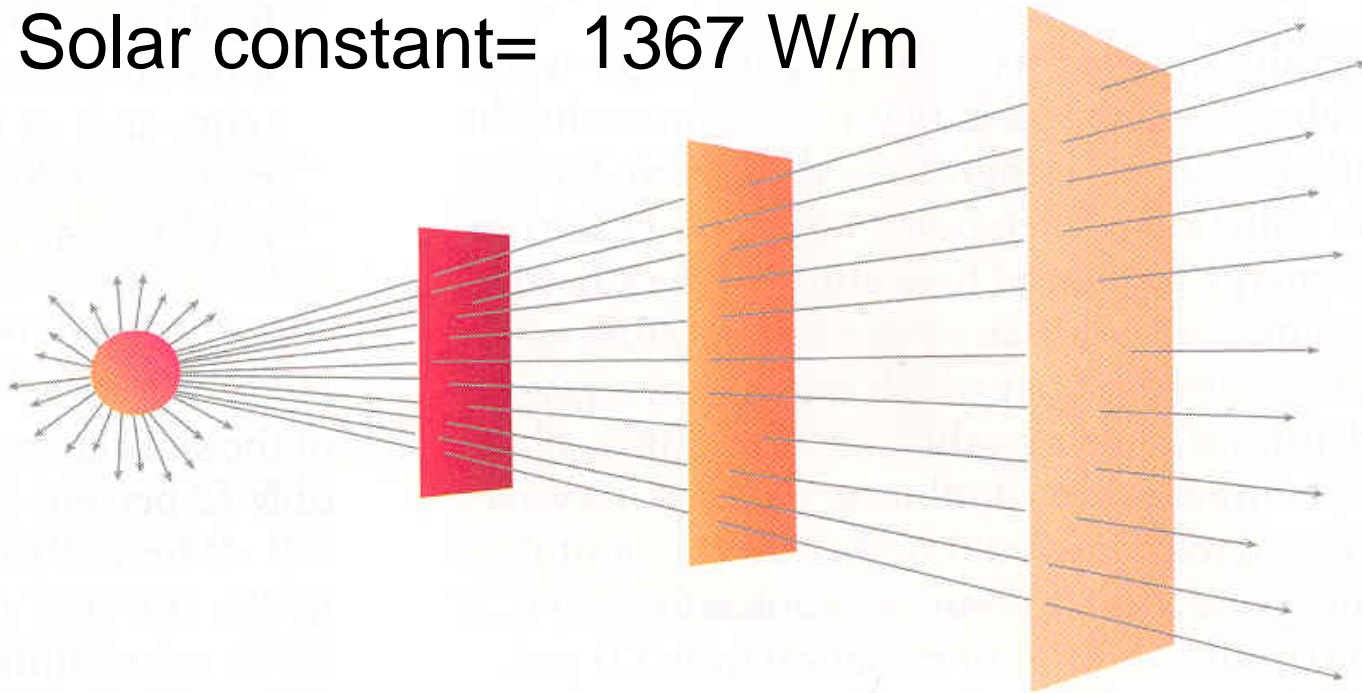
$$\lambda_{\max} = \frac{\text{constant}}{T} \quad (\text{Wien's law}),$$



太陽輻射的電磁波譜

# 輻射(Radiation)

Solar constant= 1367 W/m



**FIGURE 3**

The intensity, or amount, of radiant energy transported by electromagnetic waves decreases as we move away from a radiating object because the same amount of energy is spread over a larger area.

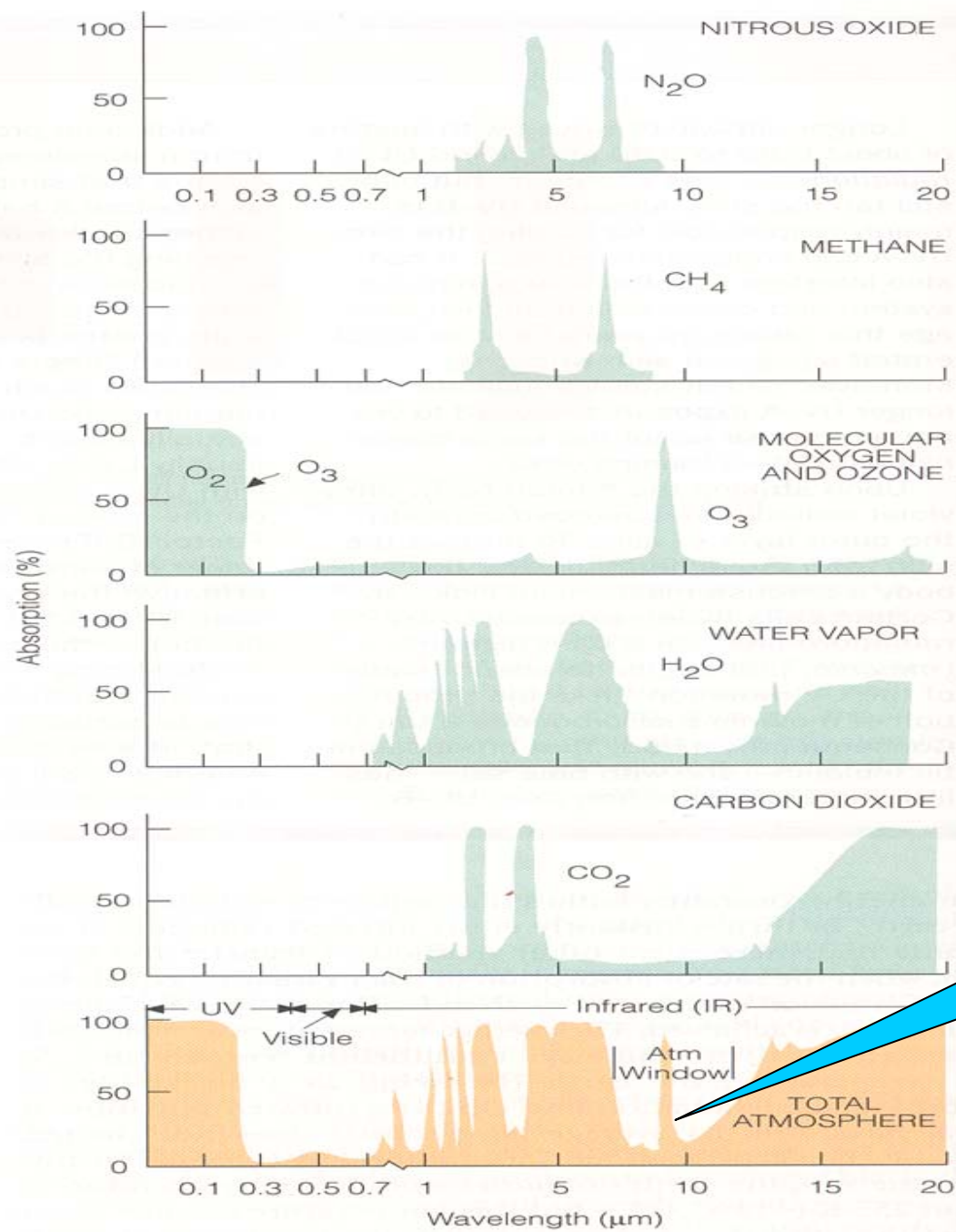
輻射能傳播，其強度及數量隨距離增大而減少。



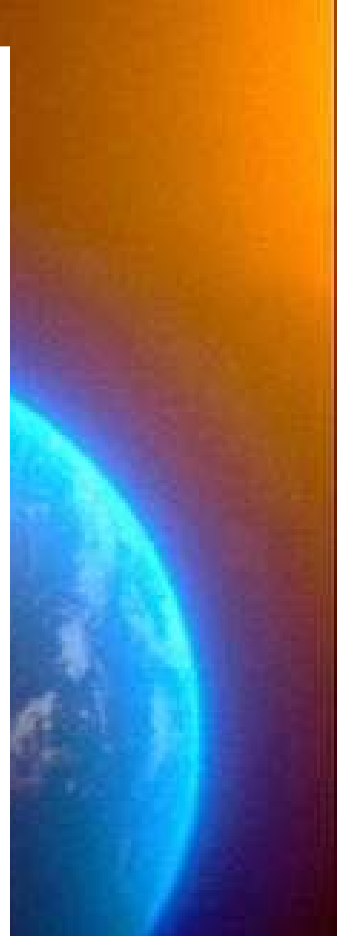
**Balancing Act -  
Absorption, Emission, and Equilibrium**



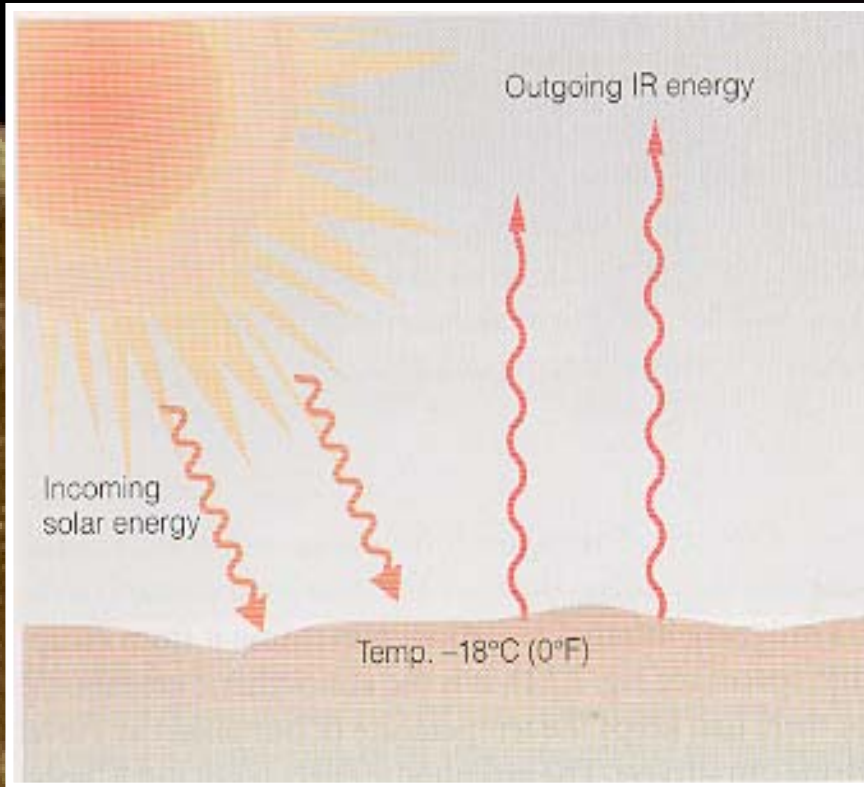
因為樹對陽光來說是較好的吸收體，所以雪吸收較暖的樹所發射的紅外線能量，在樹的周圍形成一個個凹地。



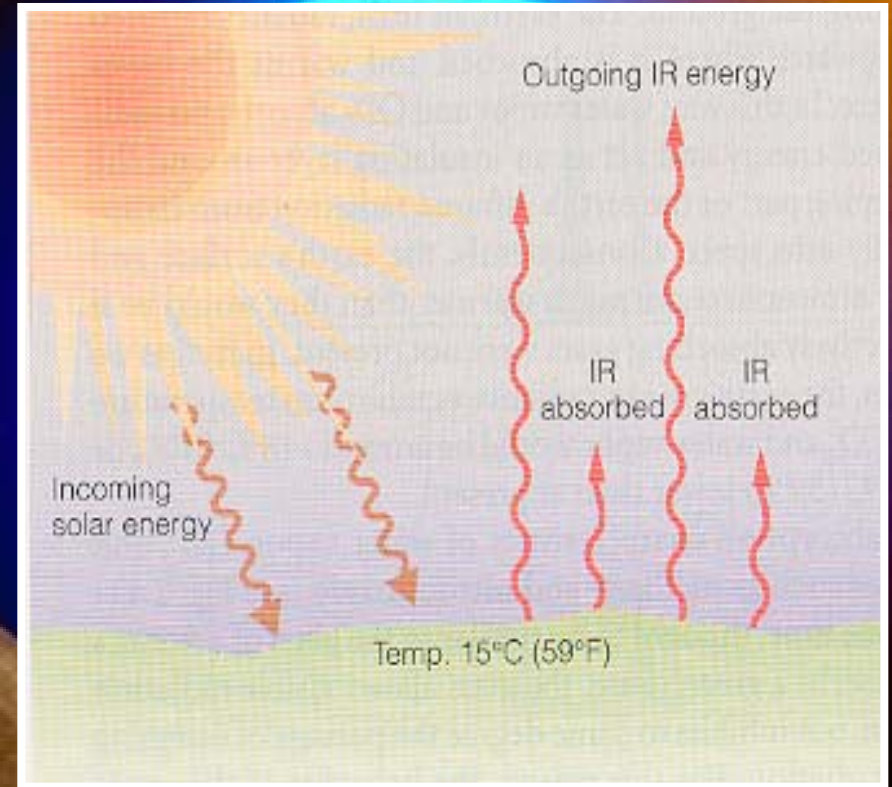
大氣窗區



# 溫室效應(greenhouse effect)



(a) 無溫室效應



(b) 有溫室效應

相差33度

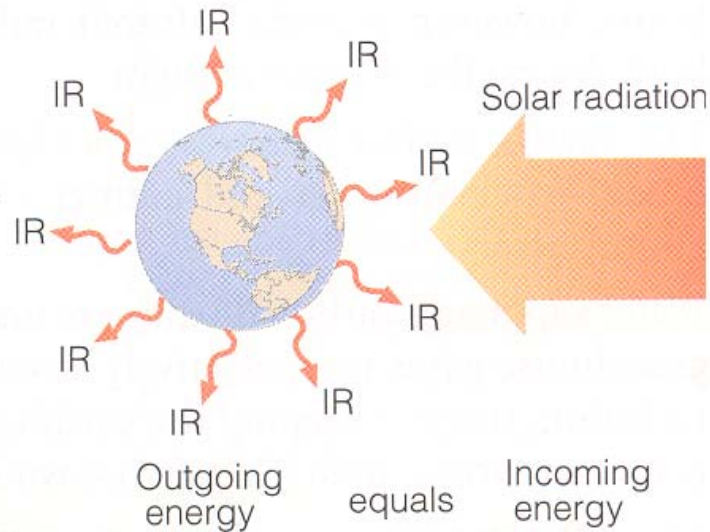
# 輻射平衡

$$E = \sigma T^4$$

$$E = \left(\frac{W}{m^2 K^4}\right) (K^4)$$

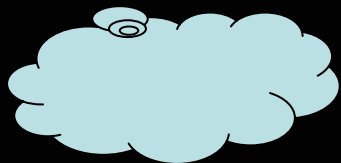
$$E = \left(\frac{W}{m^2}\right).$$

$$K = ^\circ C + 273$$



**FIGURE 4**

In radiative equilibrium, over the earth as a whole, incoming solar energy equals outgoing infrared (IR) energy.



有雲無風的夜晚

15



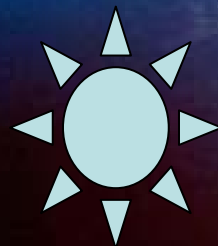
有雲無風的白天

20



無雲無風的夜晚

10



無雲無風的白天

25

# Enhancement of Greenhouse effect

@ CO<sub>2</sub>

@ CH<sub>4</sub>

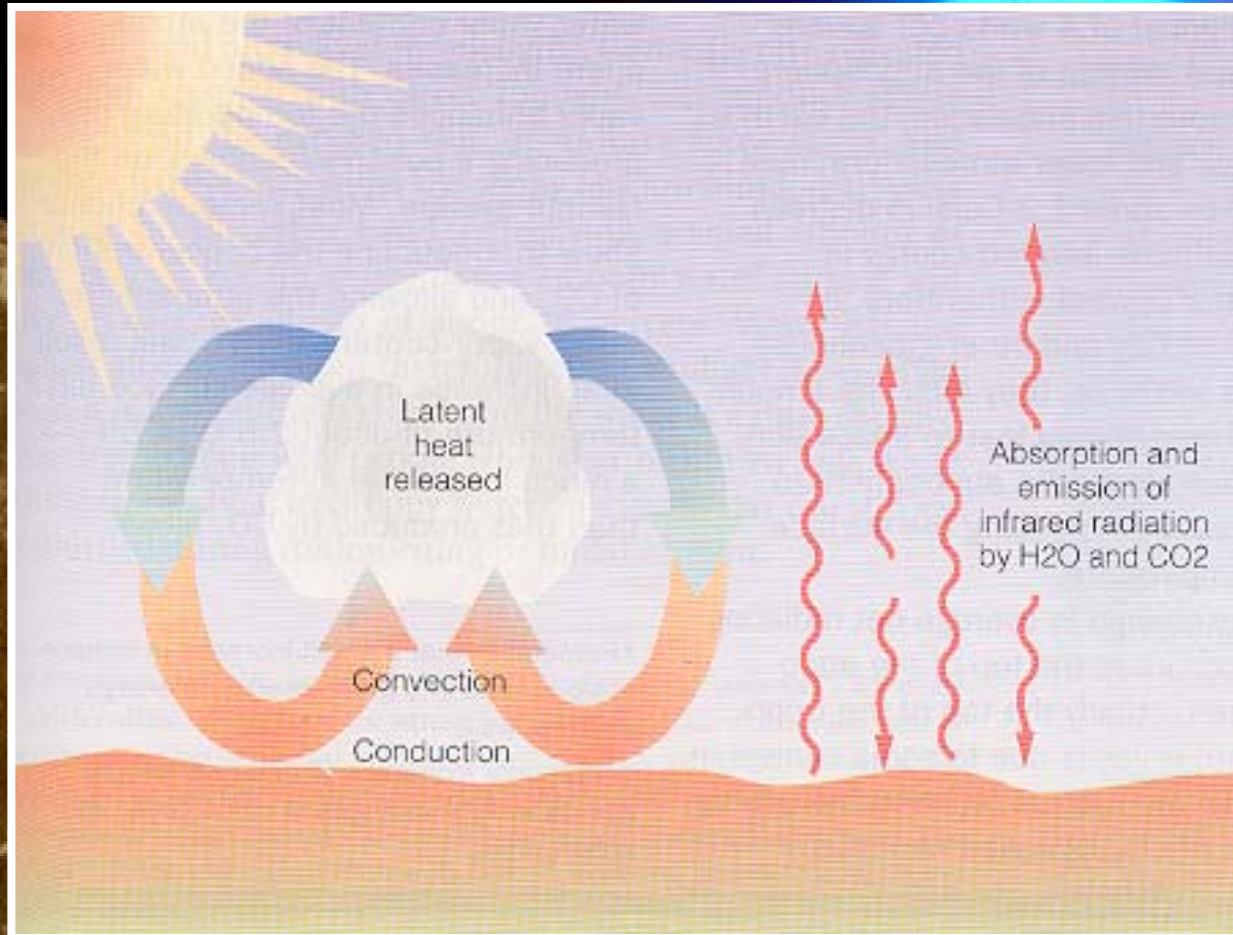
@ H<sub>2</sub>O — 正回饋

@ N<sub>2</sub>O

@ CFC



Air in the lower atmosphere is heated from below.



# Brief Review

- ◎ 所有溫度高於絕對零度的物體都會發射輻射。
- ◎ 物體溫度愈高，單位面積放出的輻射愈多，且波長愈短。
- ◎ 地表如一個黑體(相對於大氣來說)，是很好的輻射吸收體及放射體。
- ◎ 水氣及二氧化碳是重要的溫室氣體，因其選擇性吸收及放射紅外輻射，故能保持較暖的地表平均溫度。
- ◎ 多雲無風的夜晚通常比晴朗無風的夜晚溫暖，因為雲對紅外輻射來說是一個很好的吸收體。
- ◎ 重要的不是溫室效應本身，而是溫室氣體的增加所造成的溫室效應加強。

# Incoming Solar Energy



# 散射(scattered)及反射(reflected)

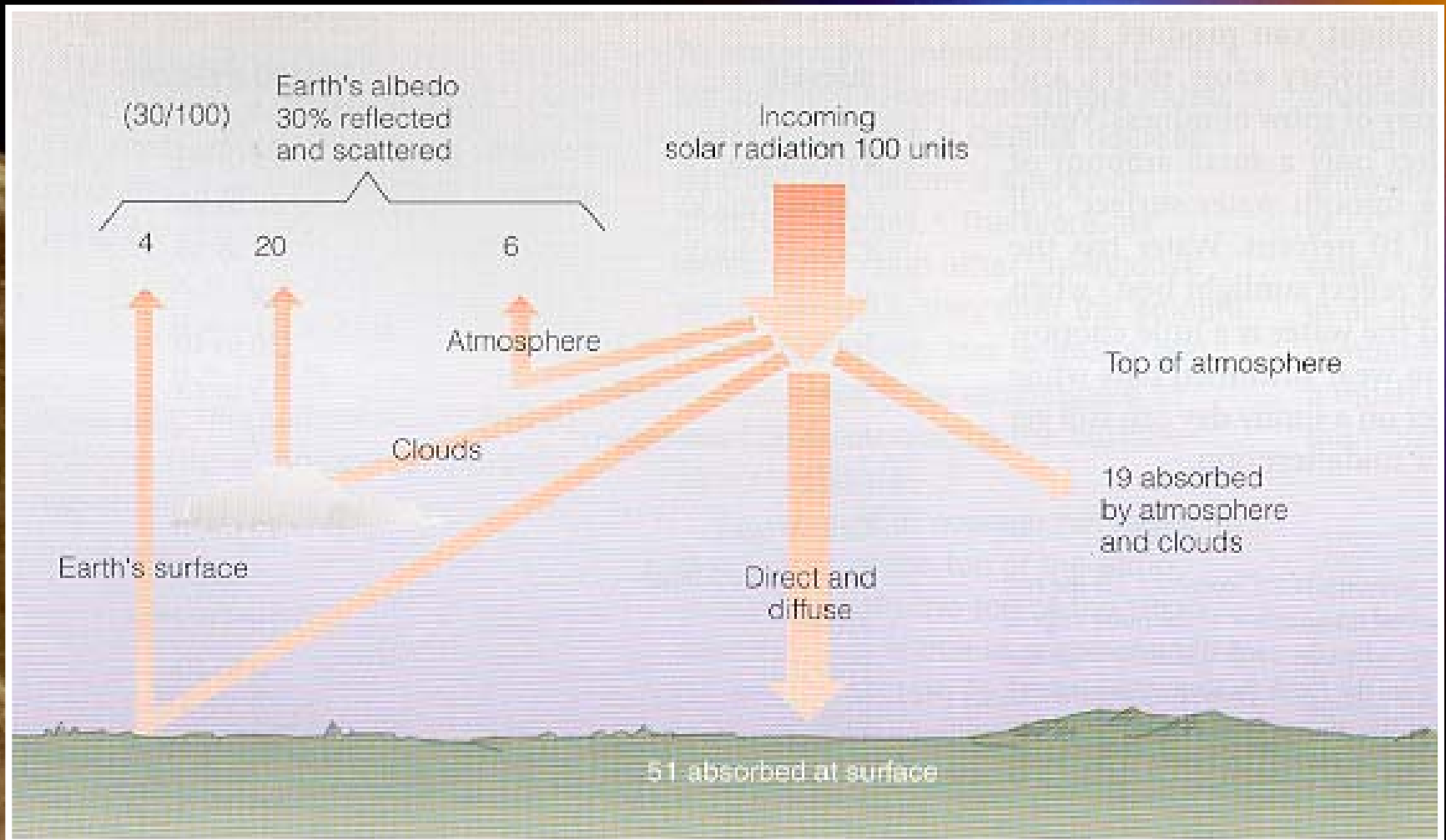
- Scattering(散射)
- Reflection(反射)
- Albedo(反照率)

TABLE 2.3 Typical Albedo of Various Surfaces

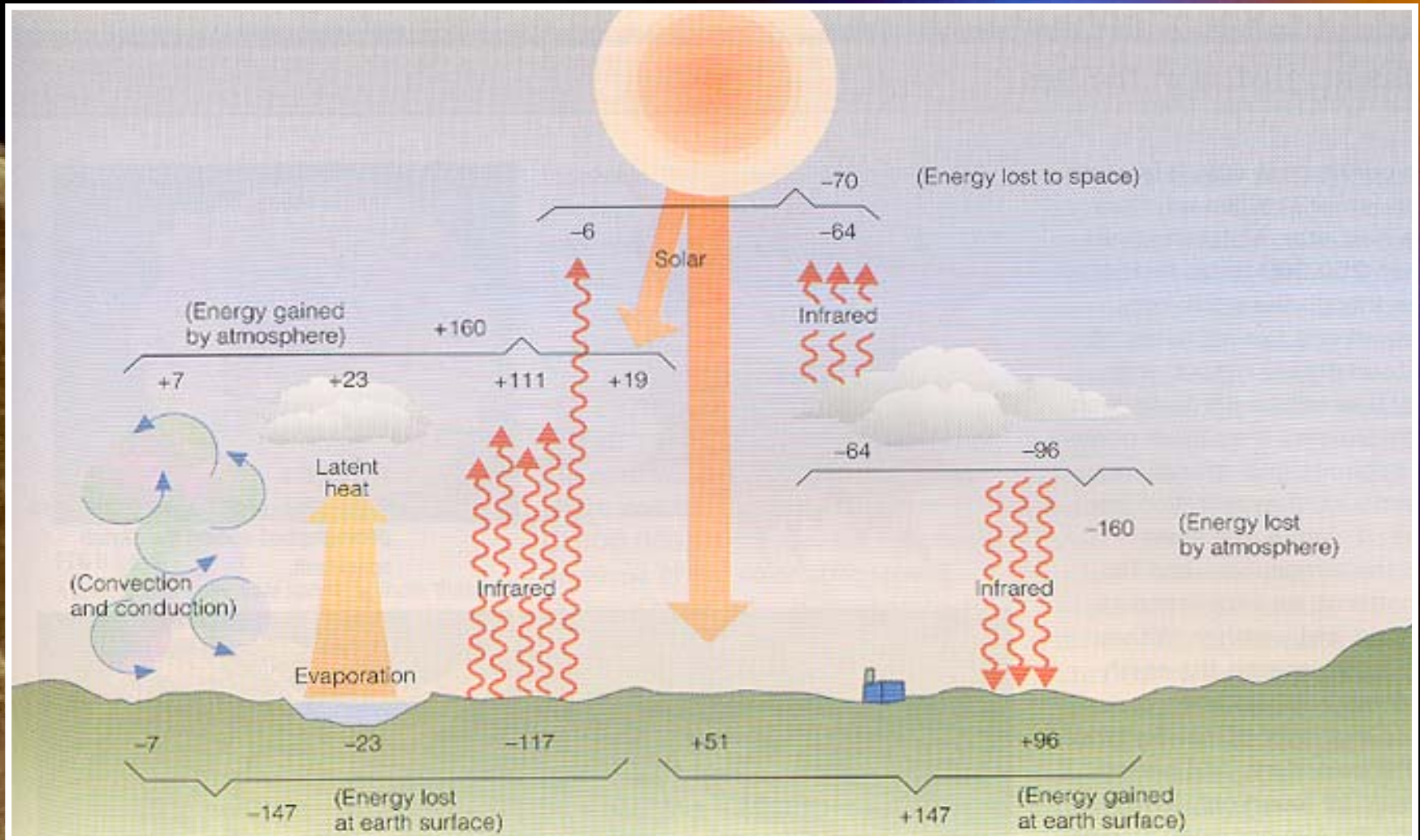
| SURFACE              | ALBEDO (PERCENT) |
|----------------------|------------------|
| Fresh snow           | 75 to 95         |
| Clouds (thick)       | 60 to 90         |
| Clouds (thin)        | 30 to 50         |
| Venus                | 78               |
| Ice                  | 30 to 40         |
| 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.

# The Earth's Annual Energy Balance



# The Earth's Annual Energy Balance



# Questions for Thought



Why the bridge is first to become icy?