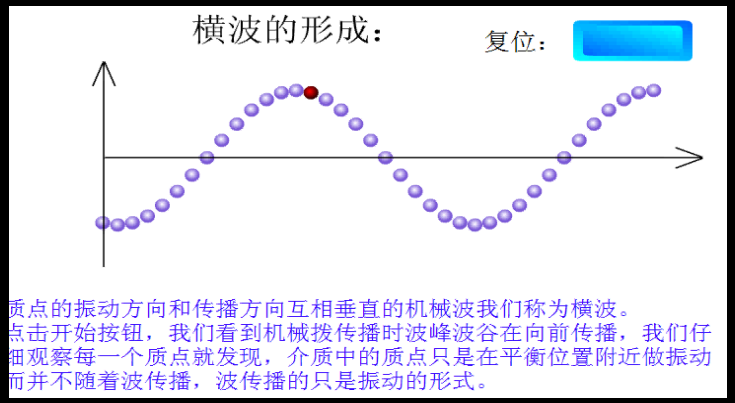
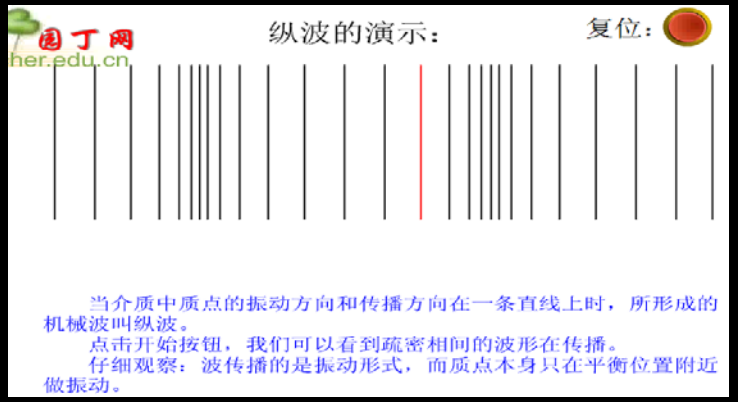
一、电磁波及其特性

1. **波的概念：** 波是振动在空间的传播。

演示



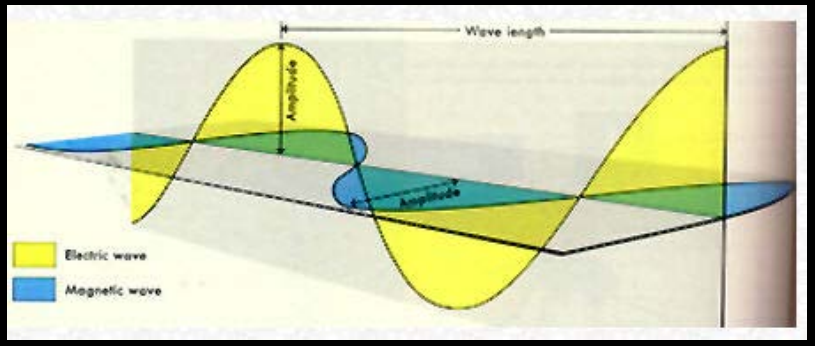


2. **机械波：** 声波、水波和地震波

3. **电磁波**（ElectroMagnetic Spectrum）

由振源发出的电磁振荡在空气中传播。

4. **电磁波**是通过电场和磁场之间相互联系传播的：原理



- 电磁波是一种伴随变化的电场和磁场的横波，
- 其传播方向与交变的电场、磁场三者互相垂直

5. **电磁辐射：**这种电磁能量的传递过程（包括辐射、吸收、反射和透射）称为电磁辐射。电磁辐射是能量的一种动态形式，只有当它与物质相互作用时才表现出来

6. 电磁波的特性

1) 电磁波是横波

2) 在真空中以光速传播

3) 电磁波具有波粒二象性： 电磁波在传播过程中，主要表现为波动性；在与物质相互作用时，主要表现为粒子性，这就是电磁波的波粒二象性。

- 波动性：电磁波是以波动的形式在空间传播的，因此具有波动性(干涉、衍射、偏振)。

干涉： 同振幅、频率和初位相（具固定位相关系）的两列（或多列）波的叠加合成而引起振动强度重新分布的现象称干涉现象。

衍射： 波在传播过程中遇到障碍物时，在障碍物的边缘一些波偏离直线传播而进入障碍物后面的“阴影区”的现象称为衍射现象。（衍射光栅使光发生色散以达到分光的目的）

偏振： 传播方向确定后，其振动方向并不是惟一的。它可以是垂直于传播方向（2 轴）的任何方向（即3、/ 平面内的任一方向）。偏振在微波技术中称为“极化”。它对微波雷达是非常重要的，因为水平极化与垂直极化所得到的图像是不同的。

- 粒子性：它是由密集的光子微粒组成的，电磁辐射的实质是光子微粒的有规律的运动。电磁波的粒子性，使得电磁辐射的能量具有统计性。

❖ 波粒二象性的程度与电磁波的波长有关：波长愈短，辐射的粒子性愈明显；波长愈长，辐射的波动特性愈明显。

普朗克指出电磁辐射能量的大小直接与电磁辐射的频率成正比，可表示为： $Q = h\upsilon$

式中：Q为辐射能量，焦（J）；υ为辐射频率；h为普朗克常数，取值为 6.626×10^{-34} 焦·秒（J·S）。

此式表明，辐射能量与它的波长成反比。即电磁辐射波长越长，其辐射能量越低。

4）描述电磁波特性的指标

波长、频率、振幅、位相等。

电磁辐射的度量

电磁辐射源（电磁振源）以电磁波的形式向外传送能量。

- 辐射能量，指以电磁波形式向外传送能量，常用 Q 表示，单位为焦（J）。
- 辐射通量（Radiant flux），又称辐射功率，指单位时间内，通过某一表面的辐射能量，常用 ϕ 表示，单位为瓦（W），即焦/秒（$J \cdot s^{-1}$），表达为

$$\phi = dQ/dt$$

- 辐射出射度（Radiant exitanee），又称辐射通量密度，指面辐射源在单位时间内，从单位面积上辐射出的辐射能量，即物体单位面积上发出的辐射通量，常用 M 表示，单位为瓦/米^2（$W \cdot m^{-2}$），表达为

$$M = d\phi/dA$$

- 辐射照度（Irradiance），简称辐照度，指面辐射源在单位时间内，从单位面积上接收的辐射能量，即照射到物体单位面积上的辐射通量，常用正表示，单位为瓦/米^2（$W \cdot m^{-2}$），表达为

$$E = d\phi/dA$$

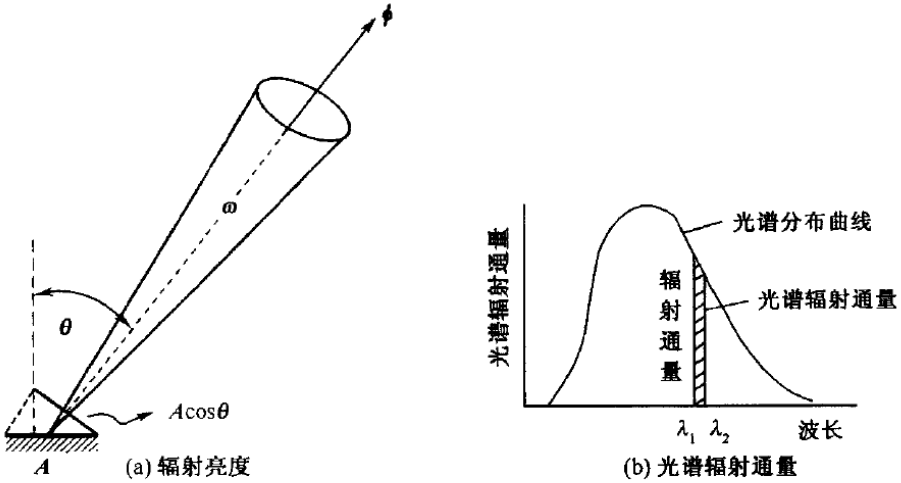


图 1－2－4　辐射度量

• 辐射强度（Radiant intensity）指点辐射源在单位立体角、单位时间内，向某一方向发出的辐射能量，即点辐射源在单位立体角内发出的辐射通量，常用 I 表示，单位为瓦/球面度（$W \cdot sr^{-1}$），表达为

$$I = d\phi/d\omega$$

• 辐射亮度（Radiance），简称辐亮度，指面辐射源在单位立体角、单位时间内，在某一垂直于辐射方向单位面积（法向面积）上辐射出的辐射能量，即辐射源在单位投影面积上、单位立体角内的辐射通量，如图 1－2－4（a）所示，常用 L 表示，单位为瓦/米^2•球面度（$W \cdot m^{-2}sr^{-1}$），表达为

$$L = d^2\phi/d\omega \cdot dA\cos\theta$$

以上各辐射量均是波长的函数。如图 1－2－4（b）表示单位波长间隔内的辐射通量，称为光谱辐射通量，表达为：$\phi(\lambda) = d\phi/d\lambda$，单位为瓦/微米（$W \cdot \mu m^{-1}$）。上述各辐射量前面的“光谱”二字常可省略。

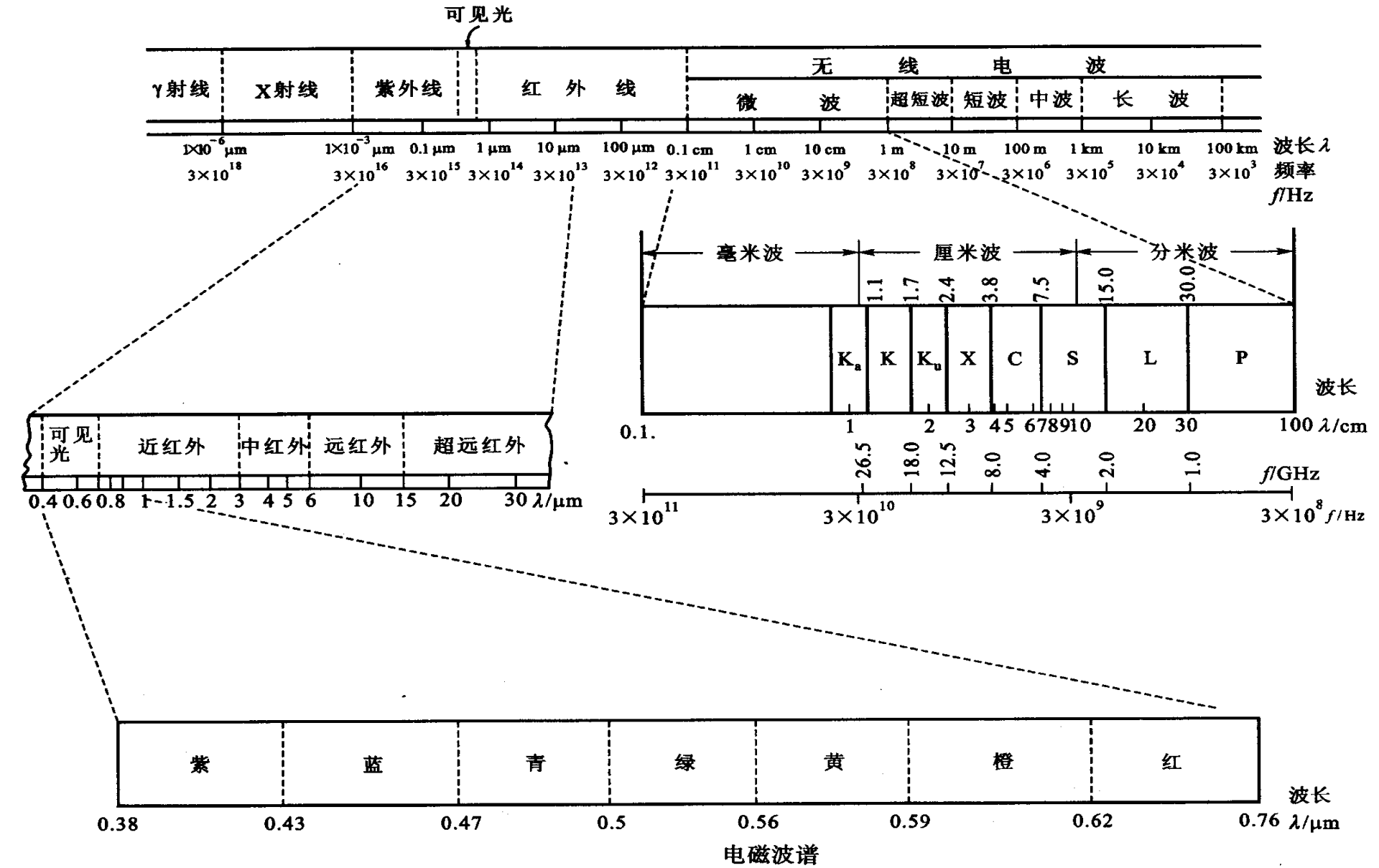
二、电磁波谱

1. **电磁波谱：** 将各种电磁波在真空中的波长按其长短，依次排列制成的图表。

在电磁波谱中，波长最长的是无线电波，其按波长可分为长波、中波、短波和微波。波长最短的是γ射线

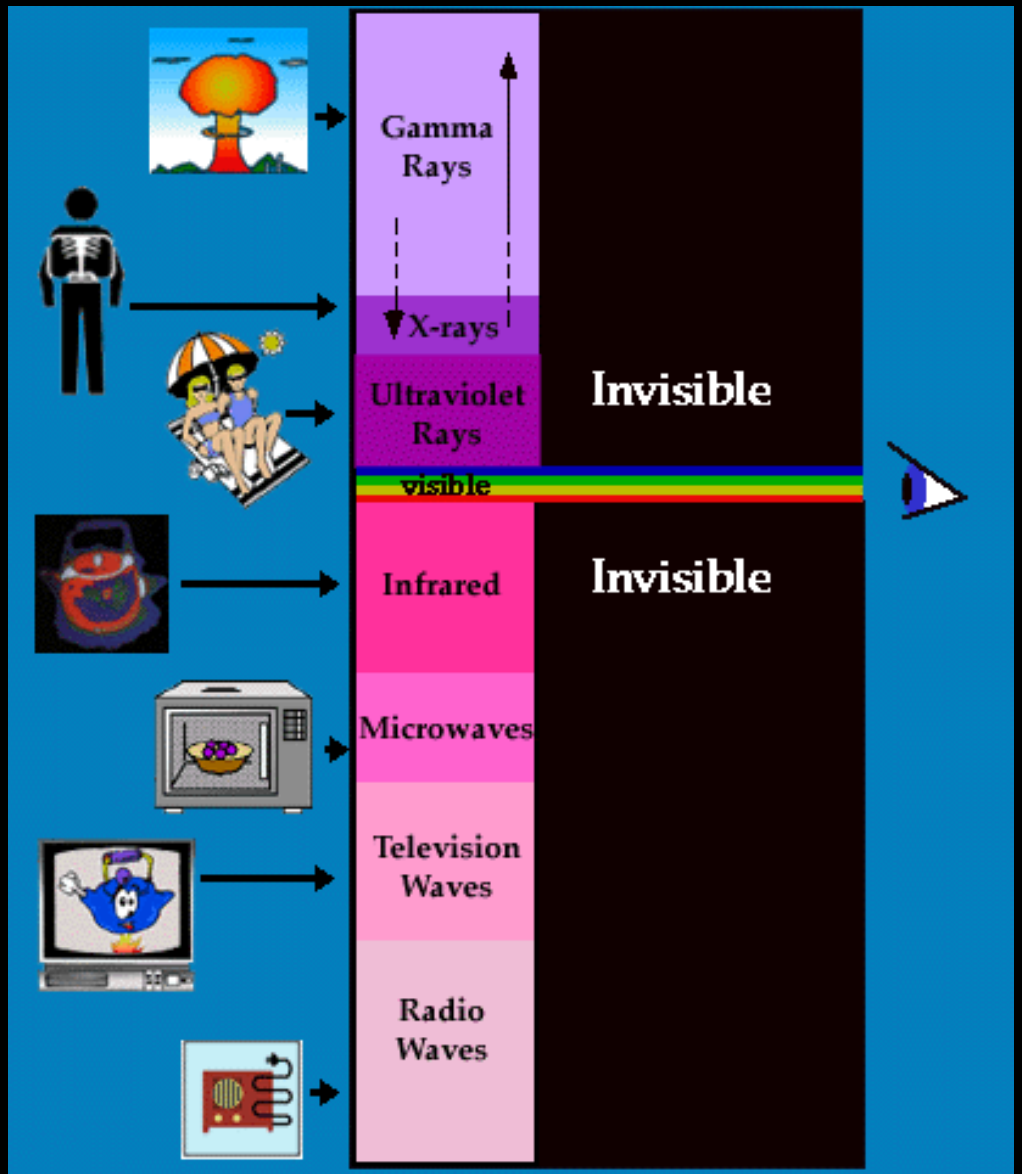
电磁波的波长不同，是因为产生它的波源不同。

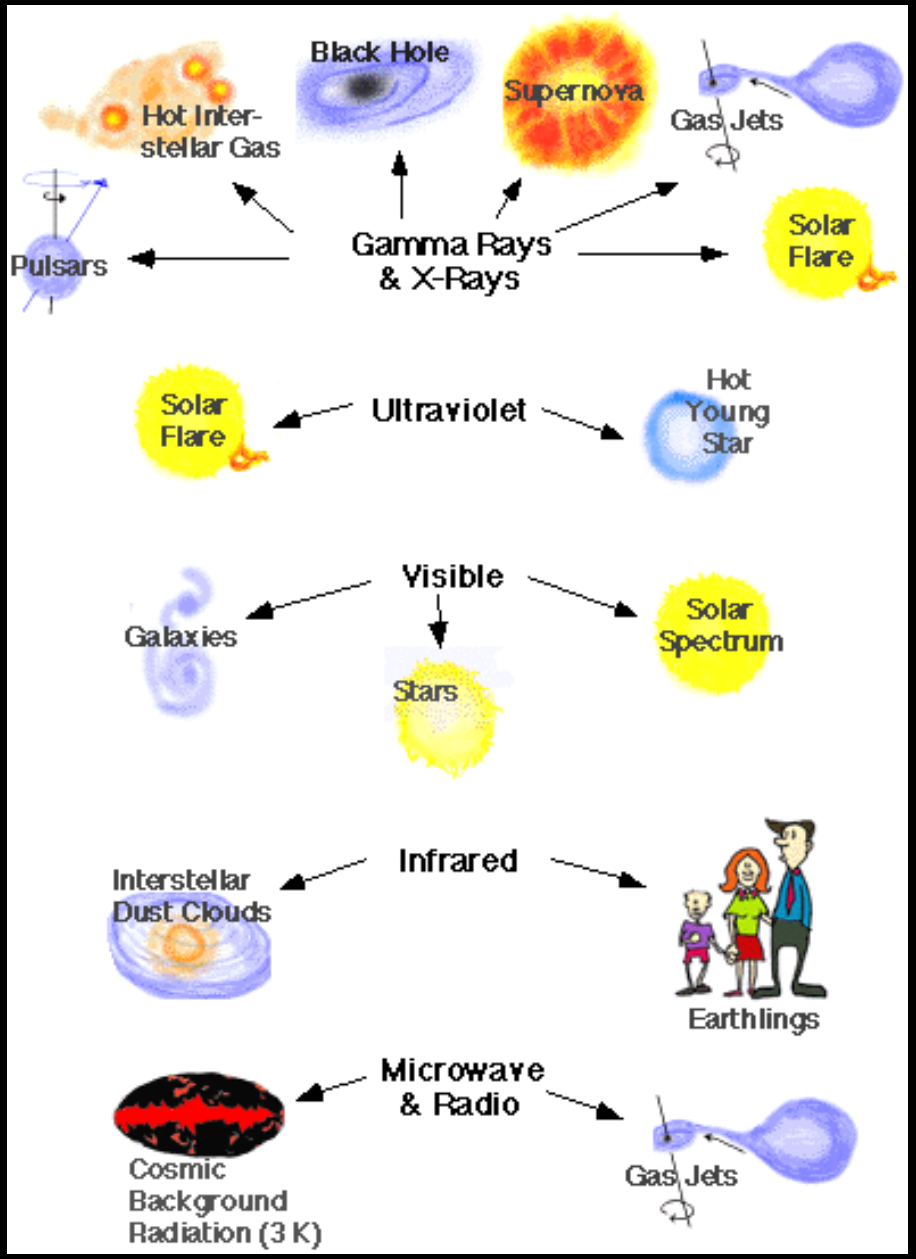
电磁波谱


可见光
γ射线
X射线
紫外线
红 外 线
无 线 电 波
微 波
超短波
短波
中波
长 波
波长 λ
频率 f/Hz
毫米波
厘米波
分米波
K_a K K_u X C S L P
波长 λ/cm
f/GHz
f/Hz
可见光
近红外
中红外
远红外
超远红外
λ/μm
紫 蓝 青 绿 黄 橙 红
波长 λ/μm
电磁波谱

The Electromagnetic Spectrum

More than meets the eye!

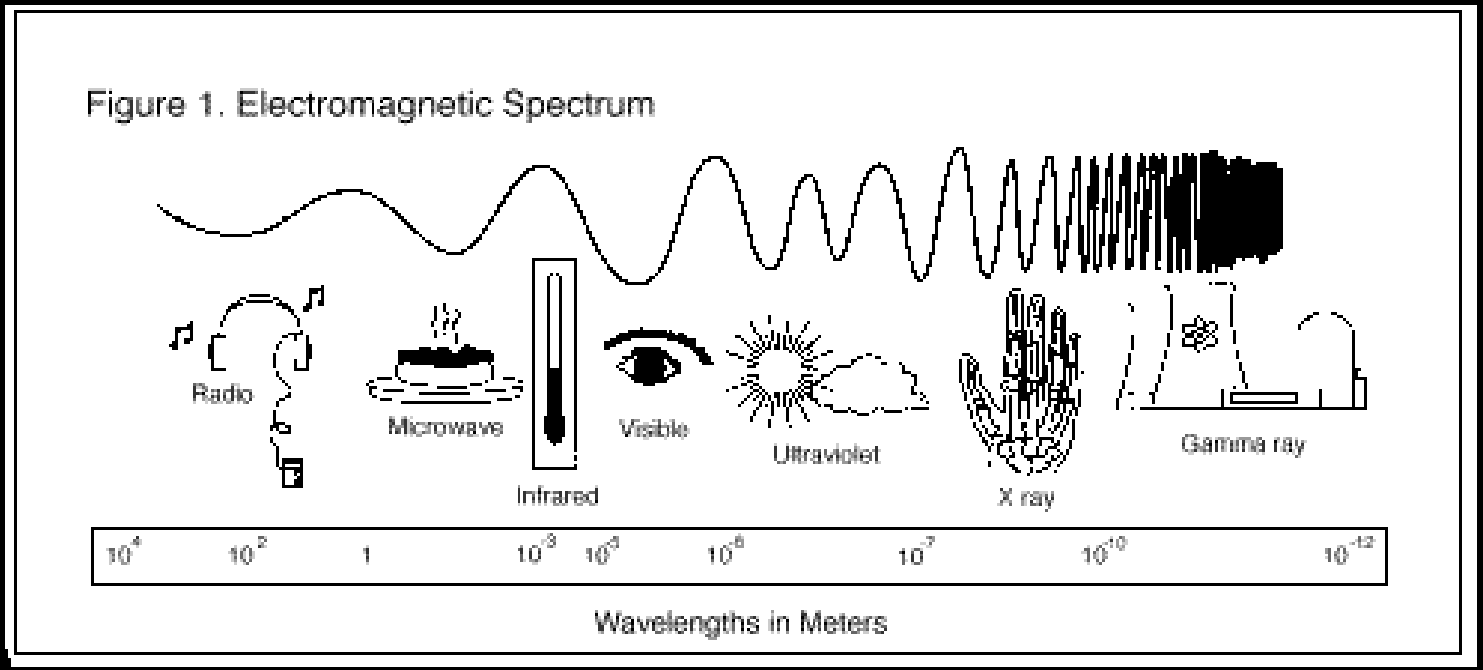




Examples from Space

Wavelength

- The distance from one wave crest to the next

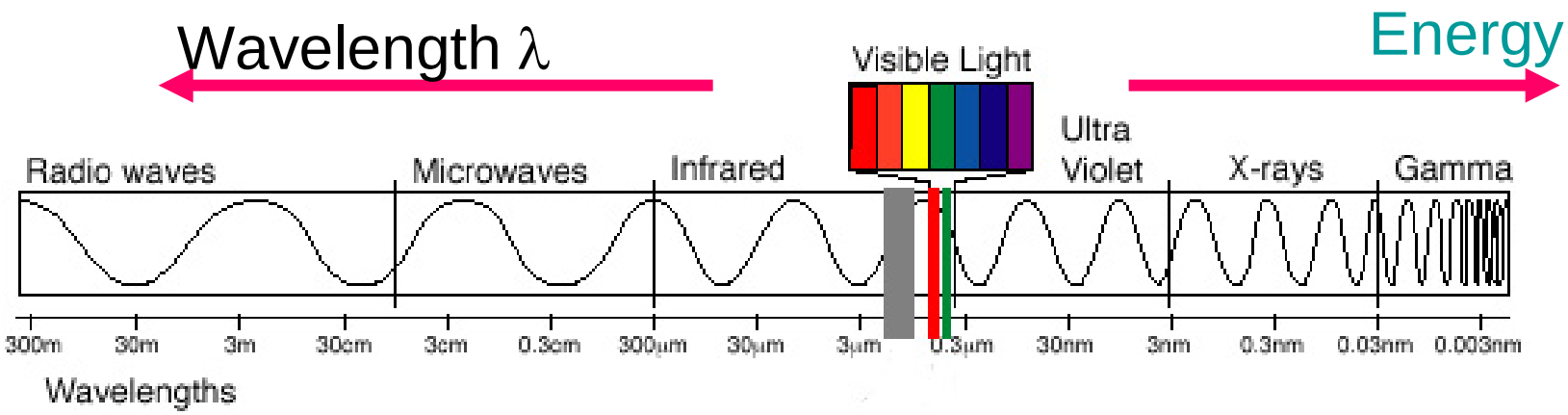


- Radio waves have longest wavelength and Gamma rays have shortest!

Wavelength Units

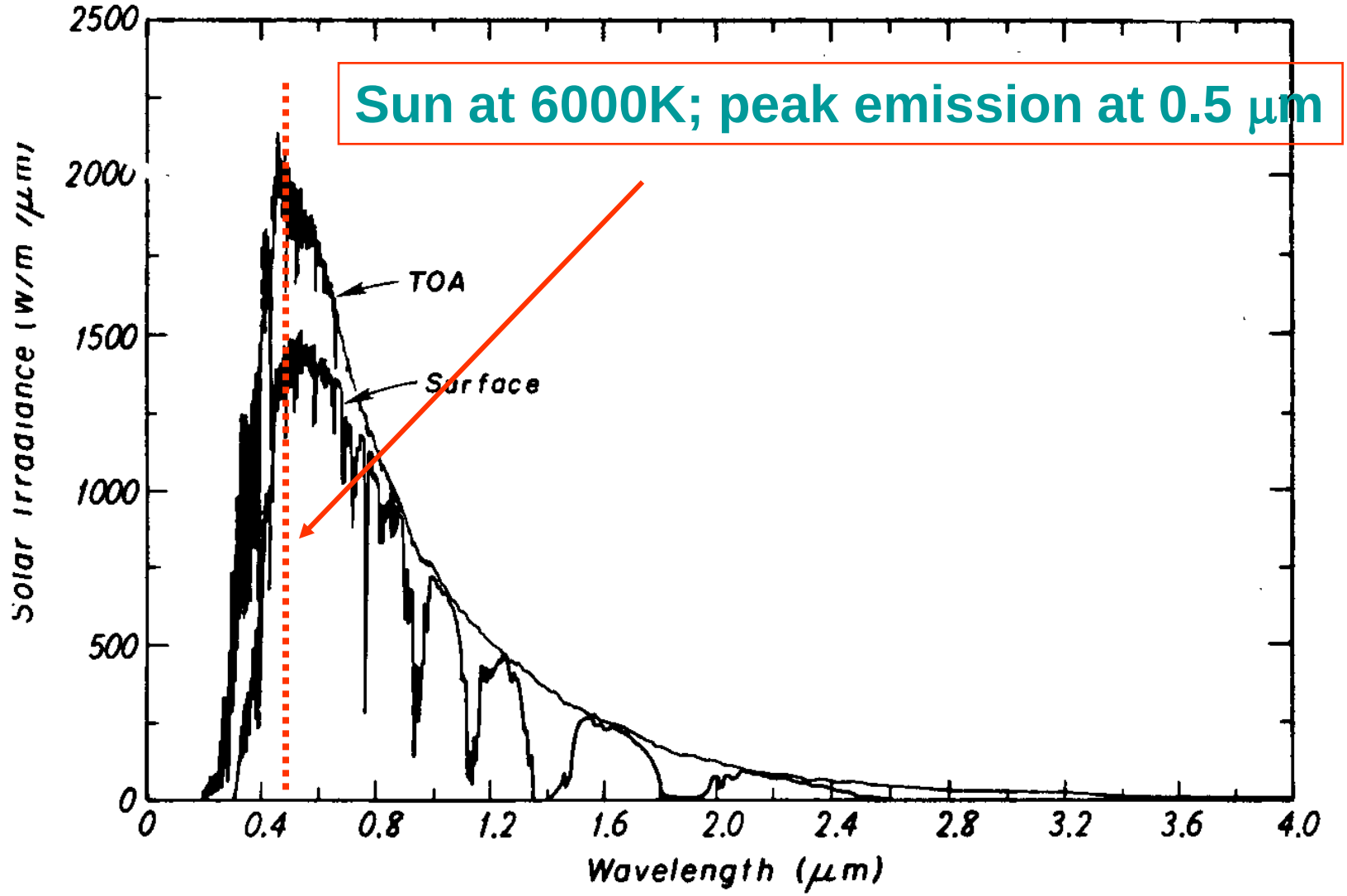
- Meters (like on last slide and in book, p. 613)
  - More commonly in nanometers (1 nm = 10^{-9} meters)
- Angstroms still used
  - Named for Swedish Astronomer who first named these wavelengths
  - 1 nanometer = 10 A^{o}

Language of the Energy Cycle: The Electromagnetic Spectrum



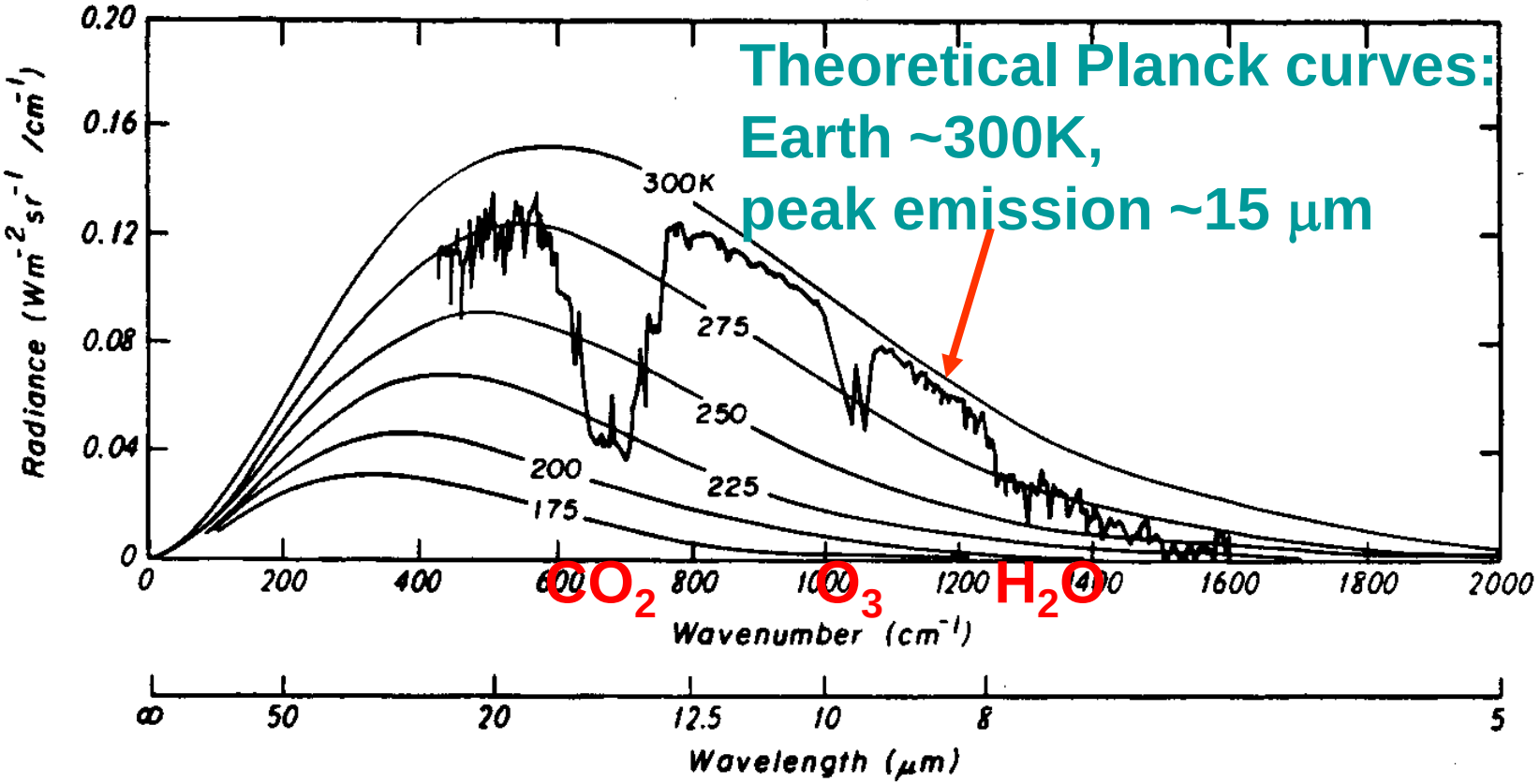
- **Speed of light = wavelength (λ) x frequency**
  = 3 x 10^8 m/s in vacuum
- **Wavenumber = 1/ wavelength (cm^{-1})**
- **Frequency in GHz (1 Hz = sec^{-1})**

Solar Spectrum = Shortwave spectrum =visible spectrum:

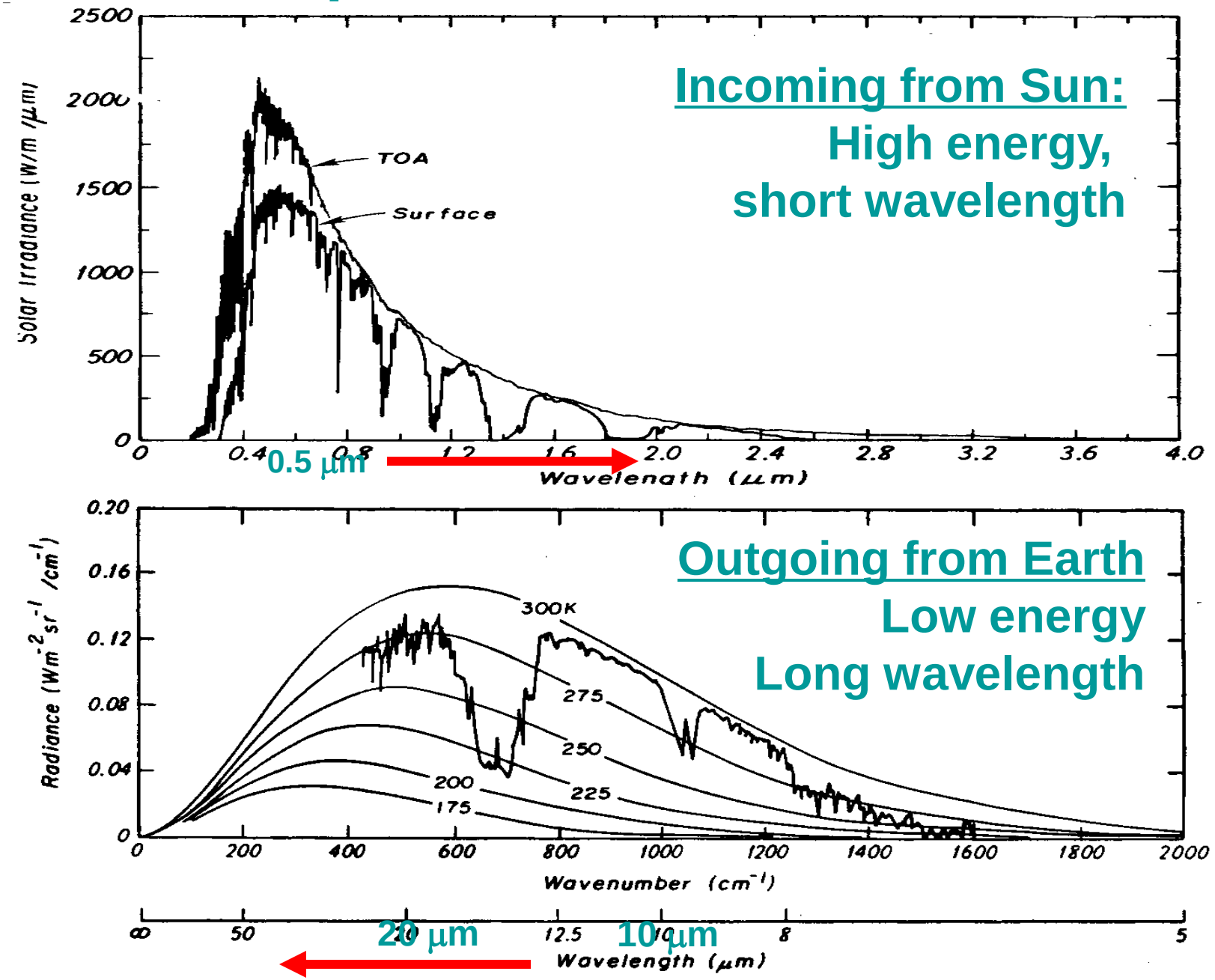


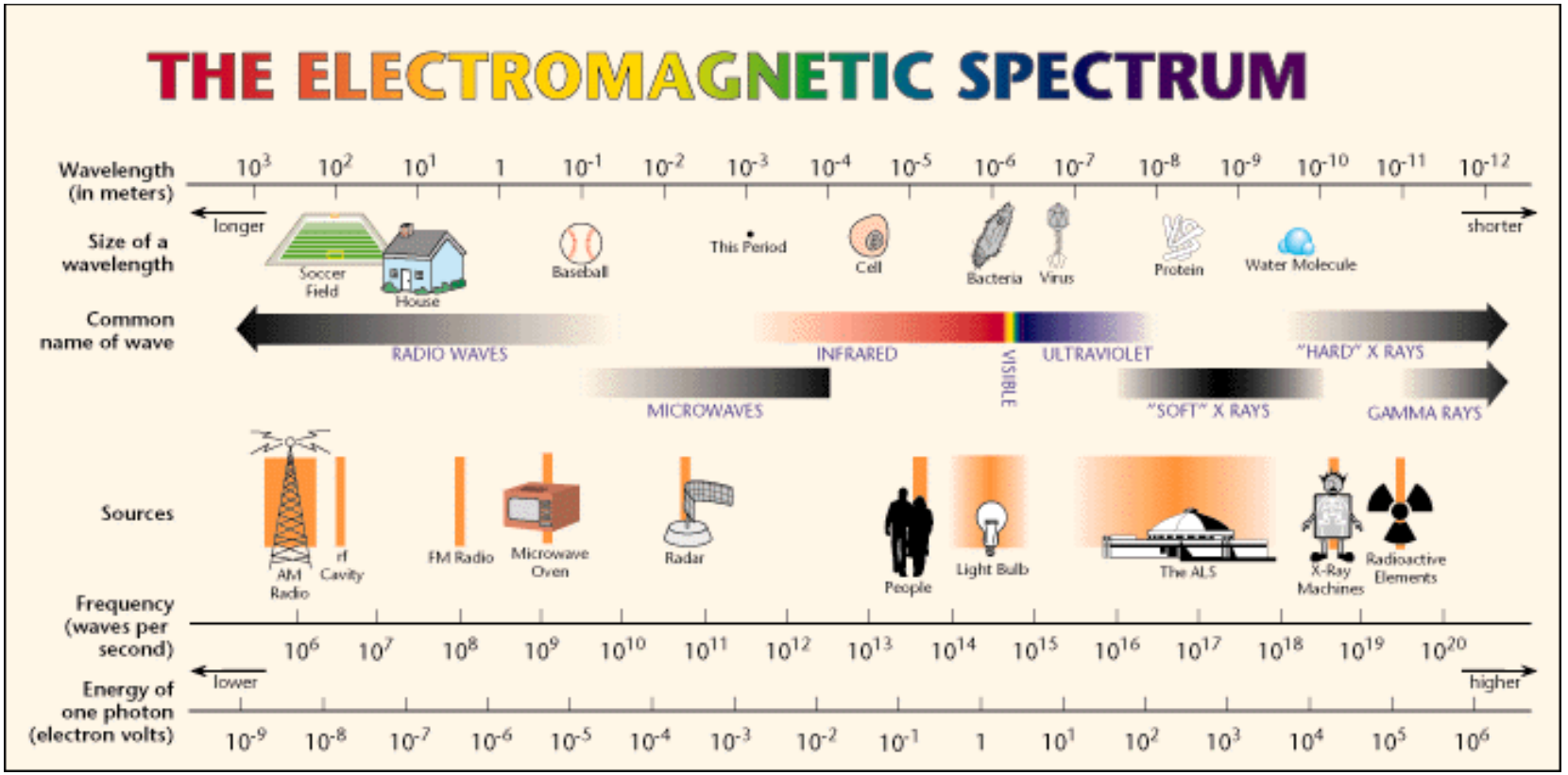
Terrestrial Spectrum = Longwave Spectrum = Infrared Spectrum = Thermal Spectrum:

Sahara Desert on Nimbus 4 Satellite



Earth Spectrum



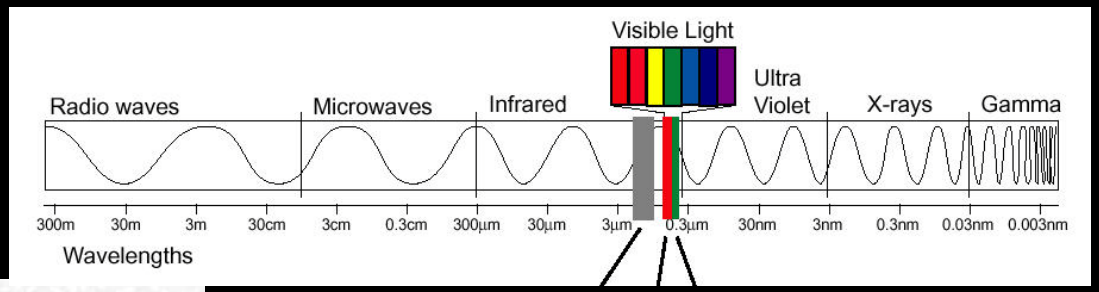


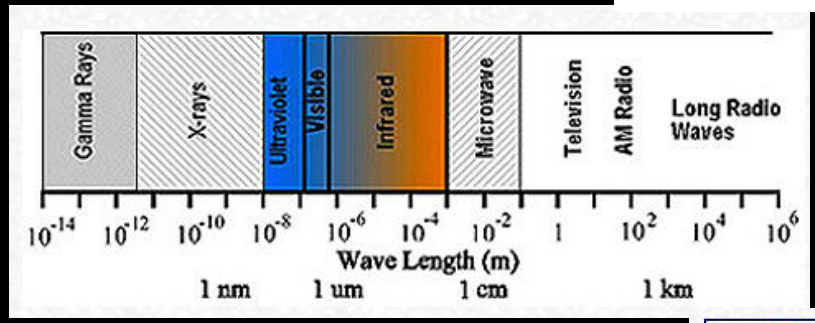
Earth **Sun**

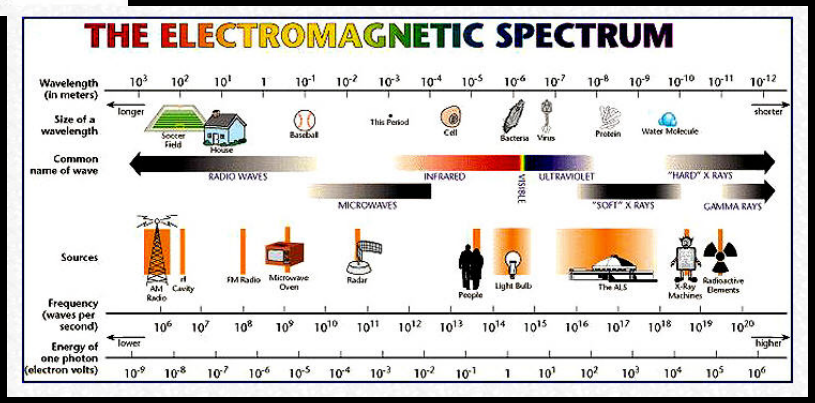
High energy

Short wavelength / high frequency

Emitted at high T


Visible Light
Radio waves
Microwaves
Infrared
Ultra Violet
X-rays
Gamma
300m 30m 3m 30cm 3cm 0.3cm 300μm 30μm 3μm 0.3μm 30nm 3nm 0.3nm 0.03nm 0.003nm
Wavelengths


Gamma Rays
X-rays
Ultraviolet
Visible
Infrared
Microwave
Television
AM Radio
Long Radio Waves
10-14 10-12 10-10 10-8 10-6 10-4 10-2 1 102 104 106
Wave Length (m)
1 nm
1 um
1 cm
1 km


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM
Wavelength (in meters)
Size of a wavelength
longer
shorter
Soccer Field
House
Baseball
This Period
Cell
Bacteria
Virus
Protein
Water Molecule
Common name of wave
RADIO WAVES
INFRARED
VISIBLE
ULTRAVIOLET
"HARD" X RAYS
MICROWAVES
"SOFT" X RAYS
GAMMA RAYS
Sources
AM Radio
FM Radio
Microwave Oven
Radar
People
Light Bulb
The ALS
X-Ray Machines
Radioactive Elements
Frequency (waves per second)
Energy of one photon (electron volts)
lower
higher

2.遥感应用的电磁波波谱段

- 紫外线：波长范围为0.01～0.38μm，太阳光谱中，只有0.3～0.38μm波长的光到达地面，对油污染敏感，但探测高度在2000 m以下。
- 可见光：波长范围：0.38～0.76μm，人眼对可见光有敏锐的感觉，是遥感技术应用中的重要波段。
- 红外线：波长范围为0.76～1000μm，根据性质分为近红外、中红外、远红外和超远红外。
- 微波：波长范围为1 mm～1 m，穿透性好，不受云雾的影响。

红外线的划分

- 近红外：0.76～3.0 μm，与可见光相似。
- 中红外：3.0～6.0 μm，地面常温下的辐射波长，有热感，又叫热红外。
- 远红外：6.0～15.0 μm，地面常温下的辐射波长，有热感，又叫热红外。
- 超远红外：15.0～1 000 μm，多被大气吸收，遥感探测器一般无法探测。

- 人工辐射源：主动式遥感的辐射源。雷达探测。分为微波雷达和激光雷达。
- 微波辐射源：0.8-30cm
- 激光辐射源：激光雷达—测定卫星的位置、高度、速度、测量地形等。

三.地物的光谱特性

- 任何地物都有自身的电磁辐射规律，如反射、发射、吸收电磁波的特性。少数还有透射电磁波的特性。地物的这种特性称为：地物的光谱特性。
- 当电磁辐射能量入射到地物表面上，将会出现三种过程：一部分入射能量被地物反射；一部分入射能量被地物吸收，成为地物本身内能或部分再发射出来，一部分入射能量被地物透射。

（一）、地物的反射光谱特性

- 地物的反射率、吸收率和透射率
  - 对于某波段反射率高的地物，其吸收率就低，即为弱辐射体；反之，吸收率高的地物，其反射率就低。

1. 地物的反射率（反射系数或亮度系数）：
地物对某一波段的反射能量与入射能量之比。反射率随入射波长而变化。

- 影响地物反射率大小的因素：
  - 入射电磁波的波长
  - 入射角的大小
  - 地表颜色与粗糙度

2. 地物的反射光谱：*地物的反射率随入射波长变化的规律。*

1) 地物反射光谱曲线：根据地物反射率与波长之间的关系而绘成的曲线。地物电磁波光谱特征的差异是遥感识别地物性质的基本原理。

2) 不同地物在不同波段反射率存在差异：雪、 沙漠、湿地、小麦的光谱曲线

地物反射波谱特征

- 反射率和反射光谱
  - 反射率

物体反射的辐射能量P_ρ占总入射能量P_0的百分比，称为反射率ρ：

$$\rho = \frac{P_\rho}{P_0} \times 100\%$$

不同物体的反射率也不同，这主要取决于物体本身的性质（表面状况），以及入射电磁波的波长和入射角度。反射率的范围总是≤1，利用反射率可以判断物体的性质。

地物反射波谱特征

- 反射率和反射光谱
  - 物体的反射

    物体的反射状况根据其表面状况的不同分为三种：

    镜面反射

    漫反射

    实际物体反射

镜面反射

- 是指物体的反射满足反射定律。入射波和反射波在同一平面内，入射角与反射角相等。
- 当镜面反射时，如果入射波为平行入射，只有在反射波射出的方向上才能探测到电磁波，而其他方向则探测不到。对可见光而言，其他方向上应该是黑的。自然界中真正的镜面很少，非常平静的水面可以近似认为是镜面。

漫反射

指不论入射方向如何，虽然反射率ρ与镜面反射一样，但反射方向却是“四面八方”。也就是把反射出来的能量分散到各个方向，因此从某一方向看反射面，其亮度一定小于镜面反射的亮度。

严格说，对漫反射面，当入射辐照度I一定时，从任何角度观察反射面，其反射辐射亮度是一个常数，这种反射面又叫朗伯面。设平面的总反射率为ρ，某一方向上的反射因子为ρ′，则：

$$\rho = \pi \rho'$$

ρ′为常数，与方向角或高度角无关。自然界中真正的朗伯面也很少，新鲜的氧化镁（MgO）、硫酸钡（$BaSO_4$）、碳酸镁（$MgCO_3$）表面，在反射天顶角≤45°时，可以近似看成朗伯面。

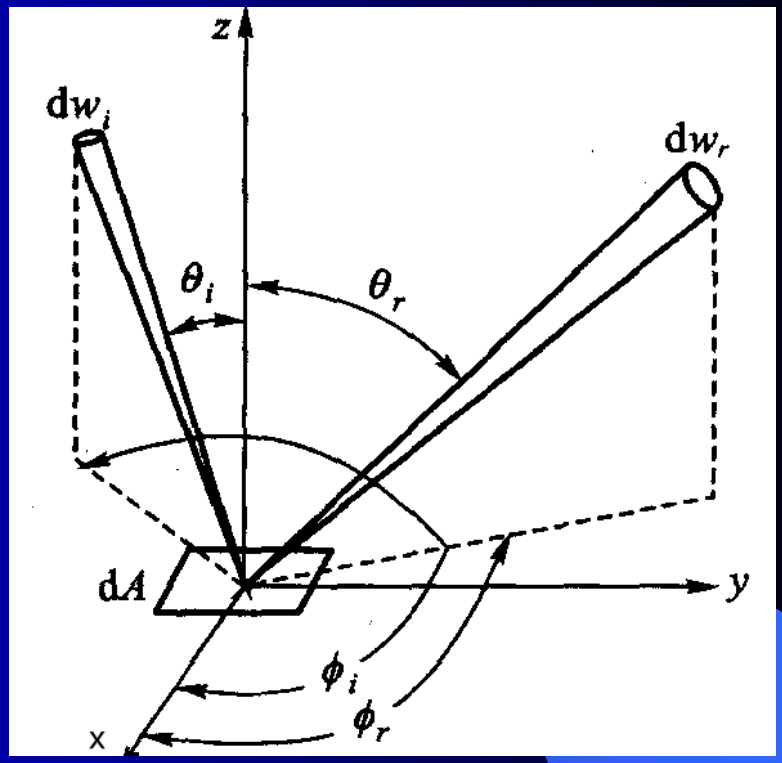
实际物体反射

多数都处于两种理想模型之间，即介于镜面和朗伯面（漫反射面）之间。一般讲，实际物体表面在有入射波时各个方向都有反射能量，但大小不同。在入射辐照度相同时，反射辐射亮度的大小既与入射方位角和天顶角有关，也与反射方向的方位角与天顶角有关。

实际物体反射

设Φ_i、θ_i分别为入射方向的方位角和天顶角，Φ_r、θ_r分别为某一反射方向的方位角和天顶角。那么方向反射因子ρ’可以表示为：

$$\rho'(\varphi_i\theta_i,\varphi_r\theta_r)=\frac{L_r(\varphi_r\theta_r)}{I_i(\varphi_i\theta_i)}$$



I_i为某一方向入射辐射的照度；L_r为观察方向的反射亮度。这些物理量均与方位角和天顶角有关，只有当朗伯体时才都成为与角度无关的量。

实际物体反射

$$\rho'(\varphi_i\theta_i,\varphi_r\theta_r)=\frac{L_r(\varphi_r\theta_r)}{I_i(\varphi_i\theta_i)}$$

入射辐照度I_i应该由两部分组成：

太阳的直接辐射，是由太阳辐射来的平行光束穿过大气直接照射地面，其辐照度大小与太阳天顶角和日地距离有关；

太阳辐射经过大气散射后又漫入射到地面的部分，因为是从四面八方射入，其辐照度大小与入射角度无关。

地物反射波谱特征

- 反射率和反射光谱
  - 反射波谱——地物反射率随波长的变化规律。

通常用平面坐标曲线表示，横坐标表示波长λ，纵坐标表示反射率ρ。同一物体的波谱曲线反映出不同波段的不同反射率，将此与遥感传感器的对应波段接收的辐射数据相对照，可以得到遥感数据与对应地物的识别规律。

地物反射波谱特征

- 地物反射波谱曲线

  除随不同地物（反射率）不同外，同种地物在不同内部结构和外部条件下形态表现（反射率）也不同。一般说，地物反射率随波长变化有规律可循，从而为遥感影像的判读提供依据。

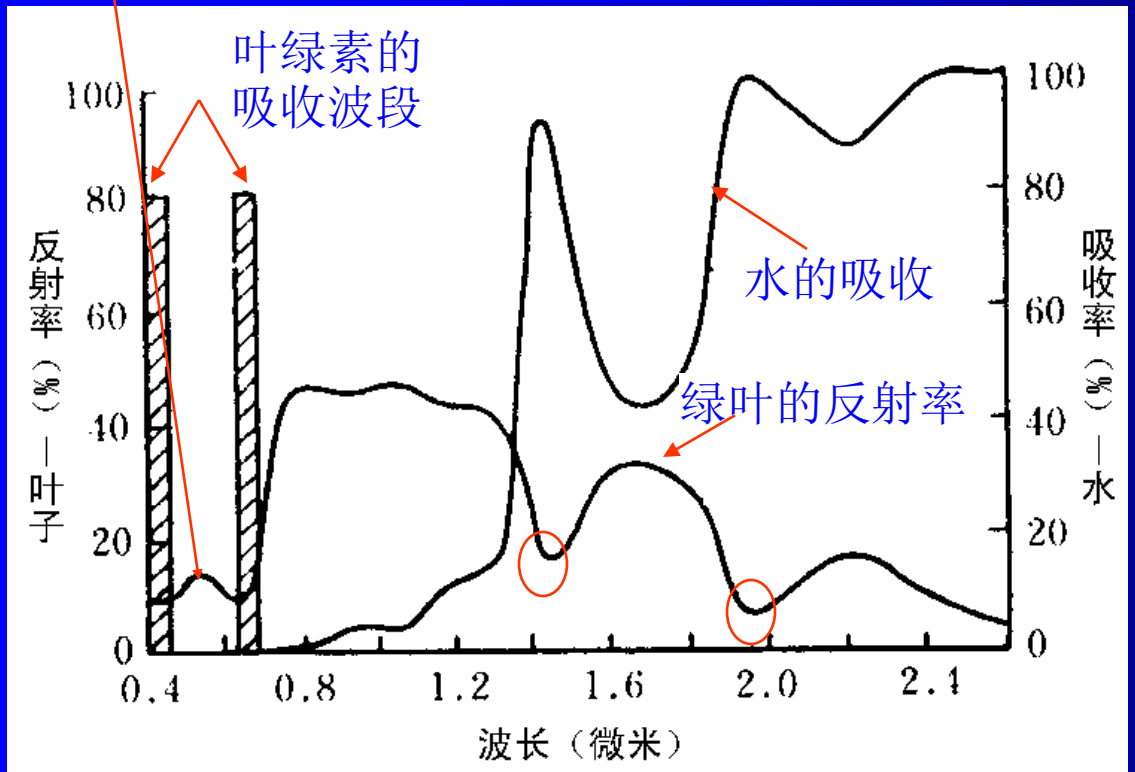
常见的几种地物类型波谱特征

- 植被
- 水体
- 土壤
- 岩石



（1）植被反射波谱曲线

规律性明显而独特。可见光波段（0.4～0.76μm）有一个小的反射峰，两侧有两个吸收带。这是因为叶绿素对蓝光和红光吸收作用强，而对绿光反射作用强。



在近红外波段（0.7～0.8 μ rn）有一反射的“陡坡”，至1.1μm附近有一峰值，形成植被的独有特征。这是由于植被叶细胞结构的影响，除了吸收和透射的部分，形成的高反射率。在中红外波段（1.3～2.5μm）受到绿色植物含水量的影响，吸收率大增，反射率大大下降，特别是在水的吸收带形成低谷。

（1）植被反射波谱曲线

植物波谱具有上述的基本特征，但仍有细部差别，这种差别与植物种类、季节、病虫害影响、含水量多少等有关系。为了区分植被种类，需要对植被波谱进行研究。

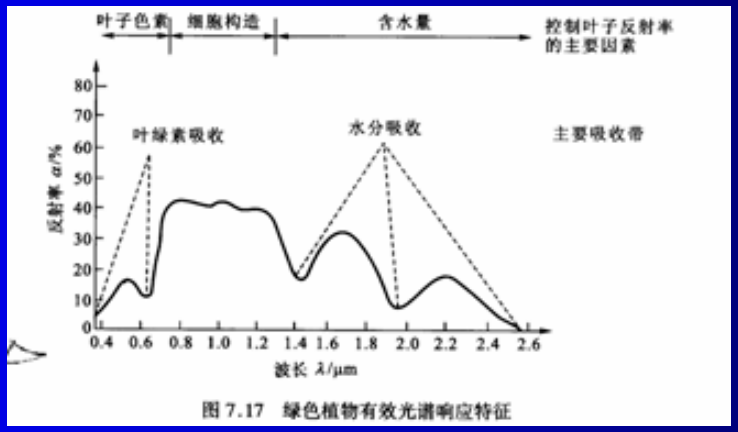
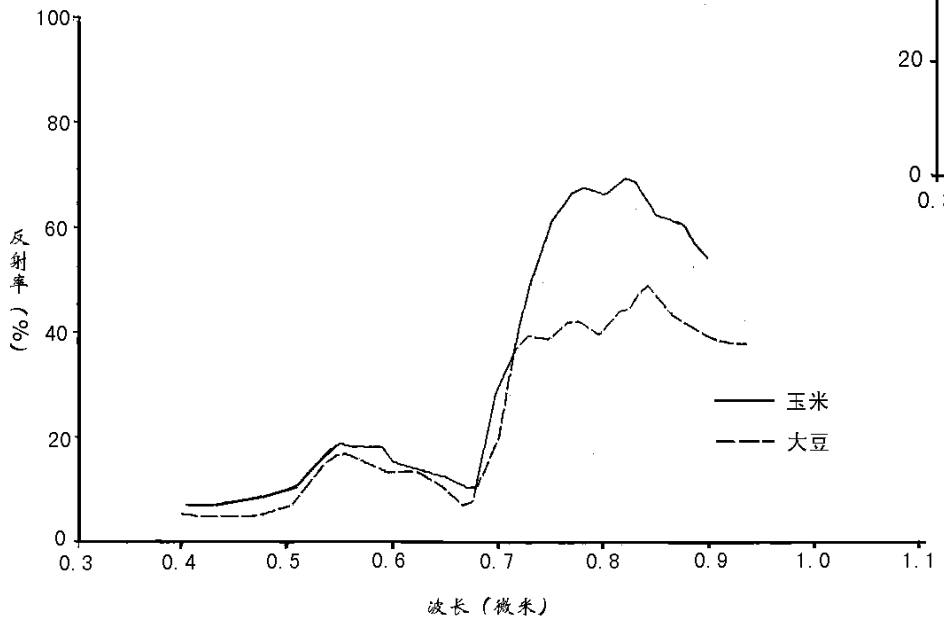
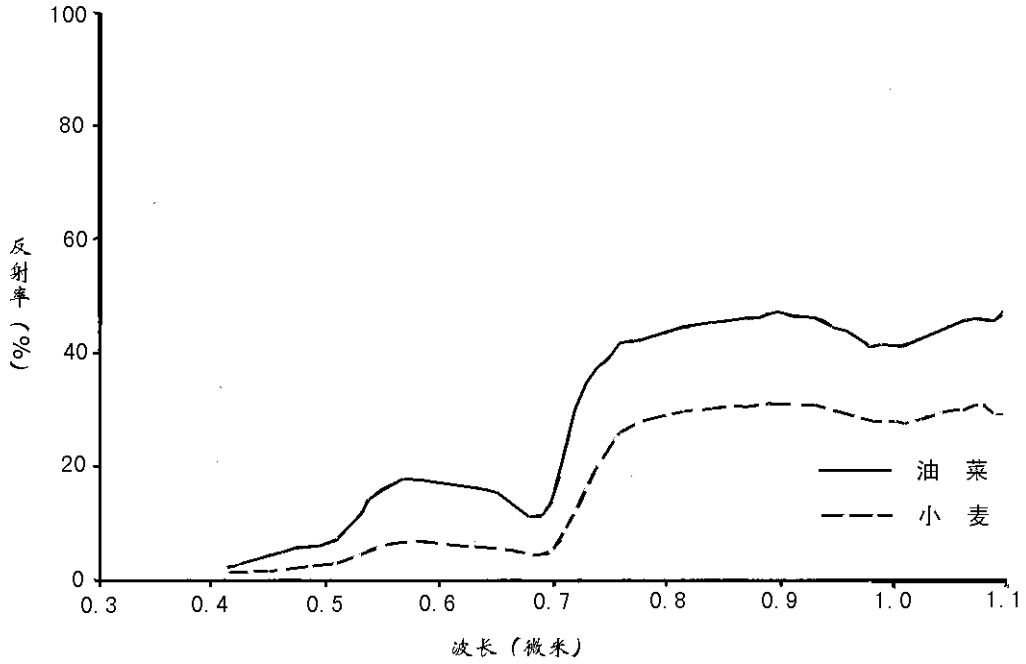


图 7.17　绿色植物有效光谱响应特征

（1）植被反射波谱曲线

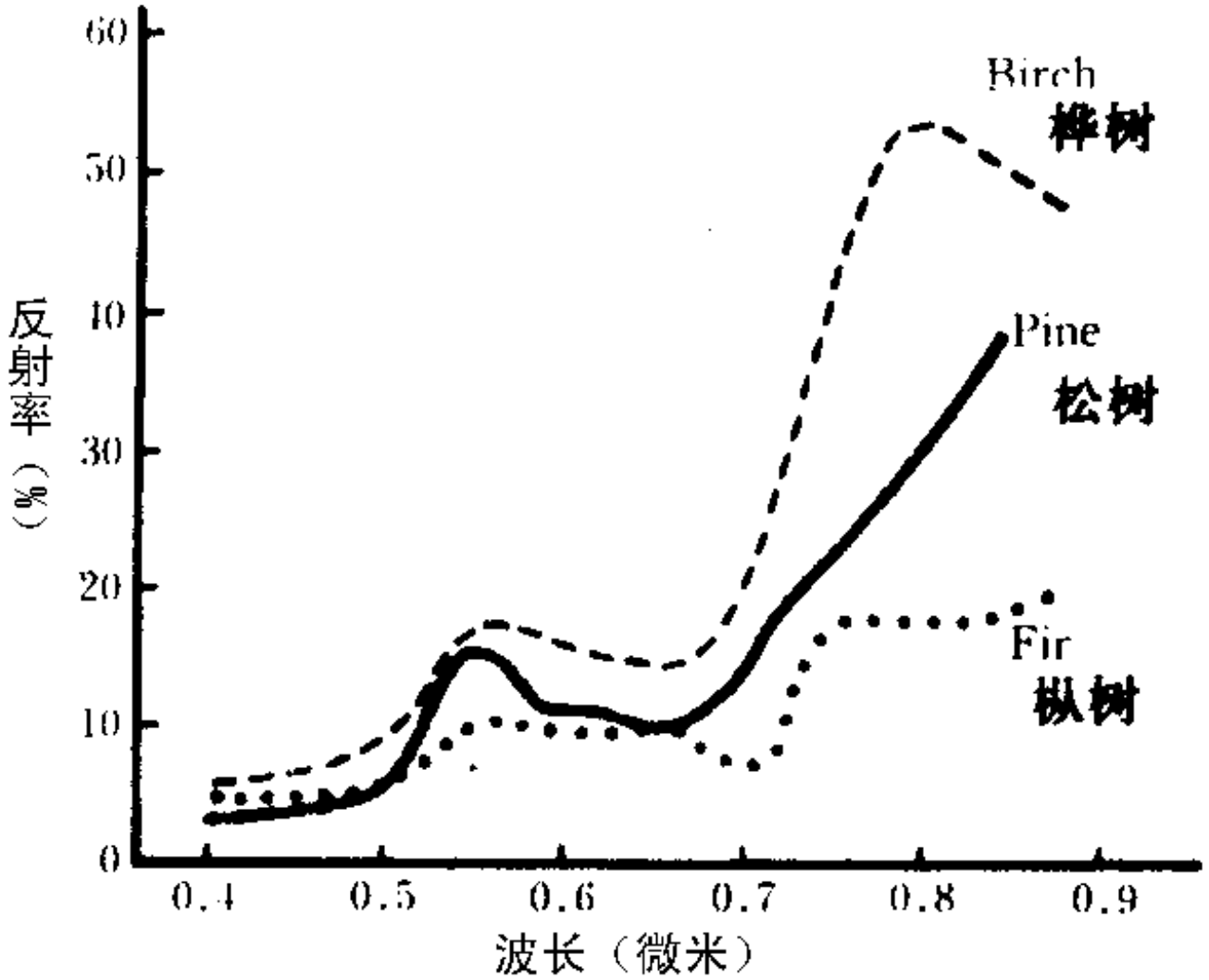
9月20日玉米、大豆





5月20日小麦、油菜

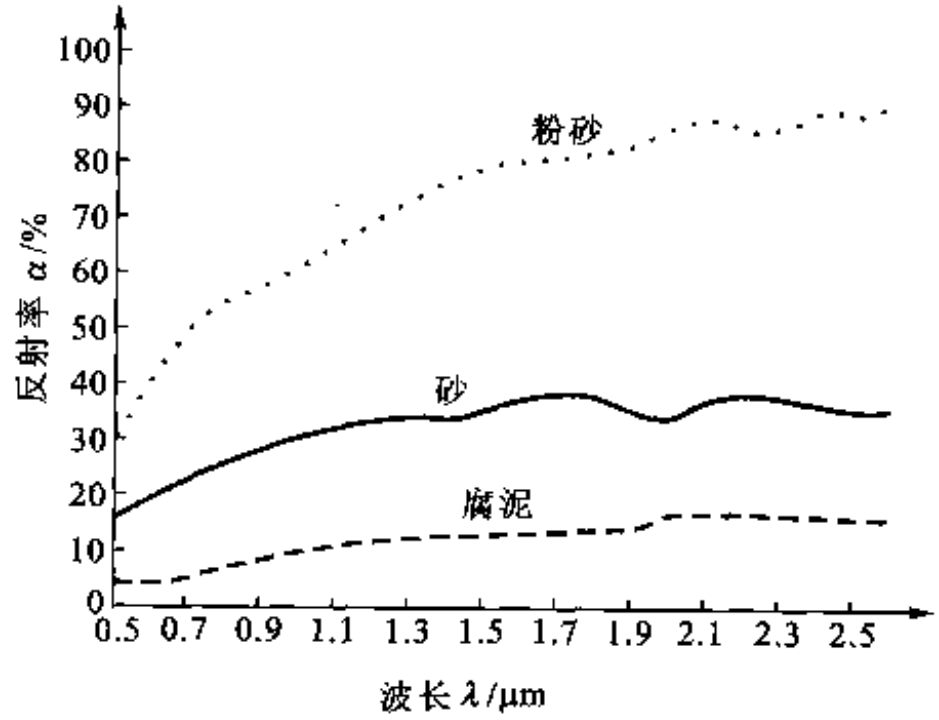
（1）植被反射波谱曲线



不同树种

（2）土壤反射波谱曲线

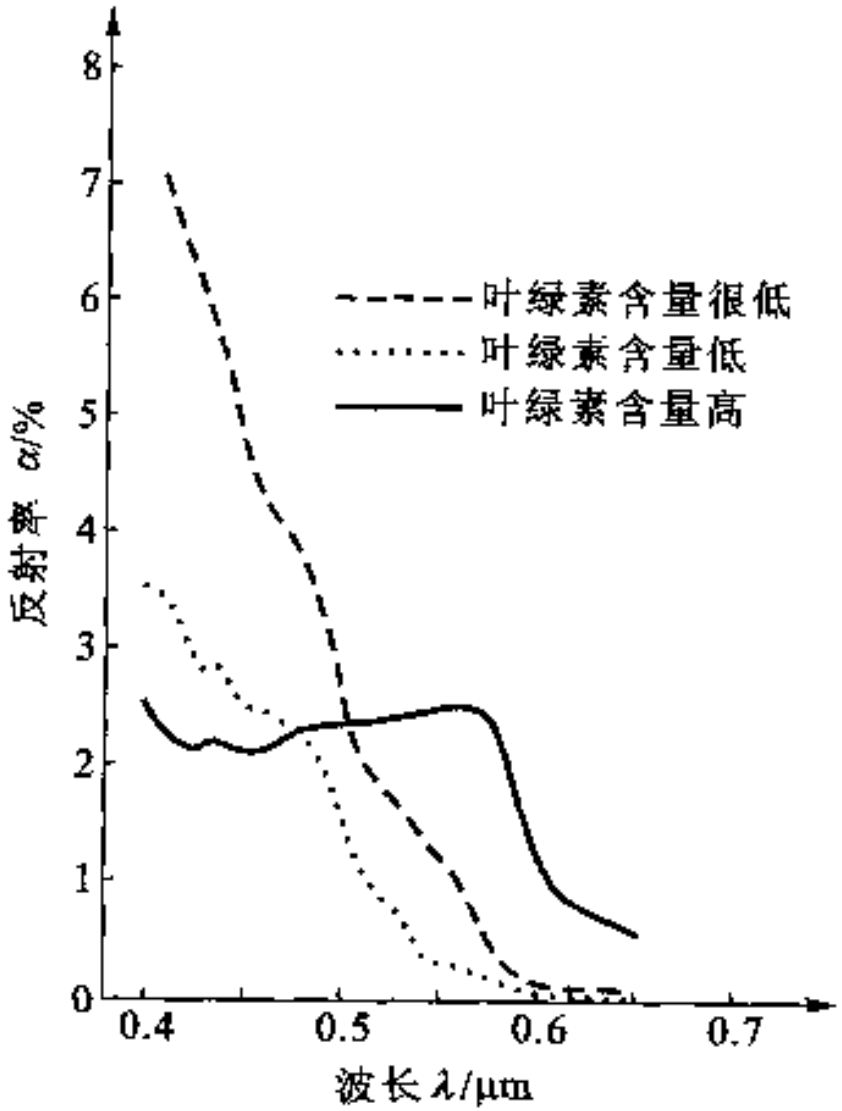
自然状态下土壤表面的反射率没有明显的峰值和谷值，一般来讲土质越细反射率越高，有机质含量越高和含水量越高反射率越低，此外土类和肥力也会对反射率产生影响。由于土壤反射波谱曲线呈比较平滑的特征，所以在不同光谱段的遥感影像上，土壤的亮度区别不明显。



不同质地土壤反射光谱曲线

（3）水体反射波谱曲线

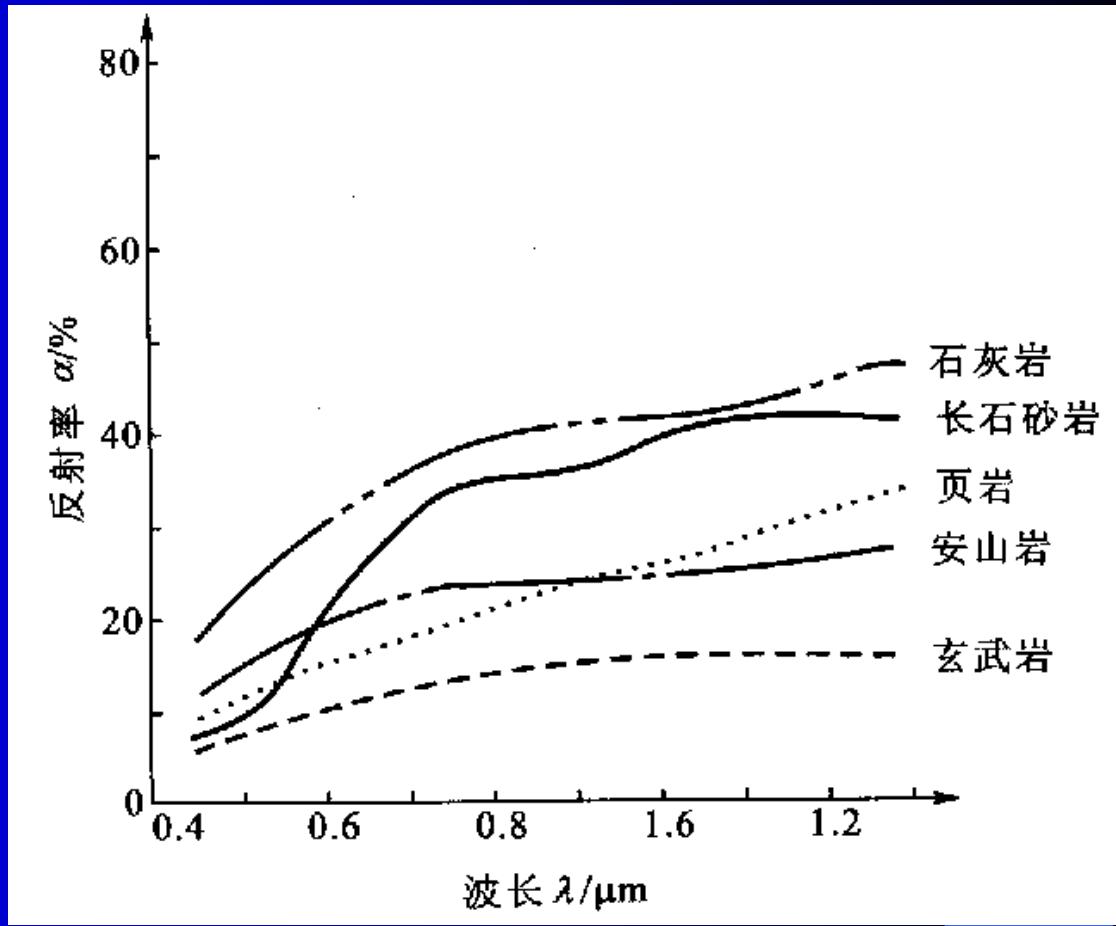
水体的反射主要在蓝绿光波段，其他波段吸收都很强，特别到了近红外波段，吸收就更强，所以水体在遥感影像上常呈黑色。但当水中含有其他物质时，反射光谱曲线会发生变化。水中含泥沙时，由于泥沙散射，可见光波段反射率会增加，峰值出现在黄红区。水中含叶绿素时，近红外波段明显抬升，这些都成为影像分析的重要依据。



不同叶绿素浓度的海水反射光谱曲线

（3）岩石反射波谱曲线

岩石的反射波谱曲线无统一的特征，矿物成分、矿物含量、风化程度、含水状况、颗粒大小、表面光滑程度、色泽等都会对曲线形态产生影响。



几种岩石的反射波谱曲线

地物波谱特征的测量

电磁波谱中，可见光和近红外波段（0.3~2.5μm）是地表反射的主要波段，多数传感器使用这一区间。

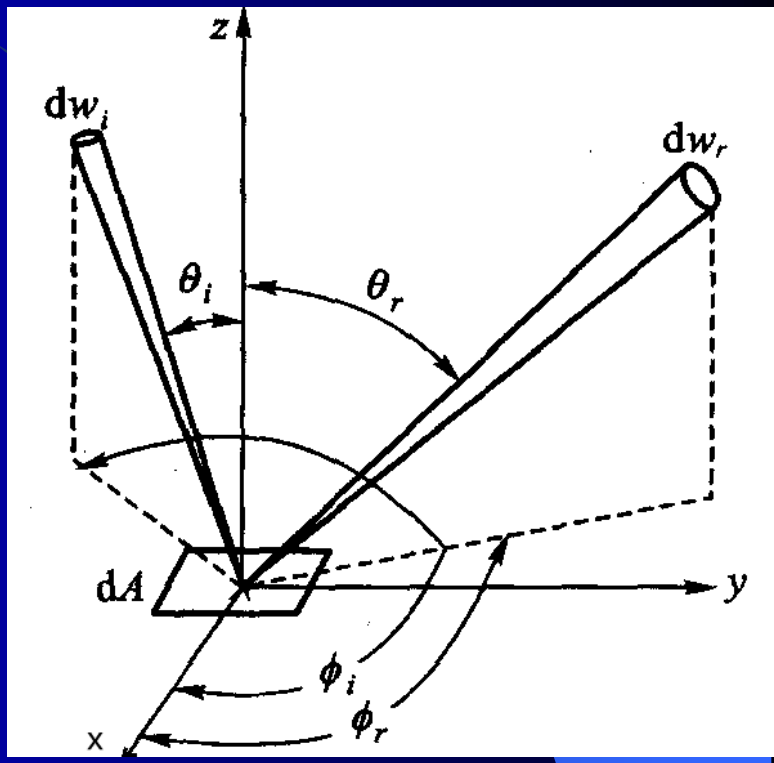
地物波谱特征测量的作用

- 传感器波段选择、验证、评价的依据
- 建立地面、航空和航天遥感数据的关系
- 将地物光谱数据直接与地物特征进行相关分析并建立应用模型

地物波谱特征的测量

- 地物反射波谱测量理论
  - 双向反射分布函数（BRDF）

对于地物表面dA，入射时辐照度为$dI_i(\Phi_i, \theta_i)$，在Φ_r和θ_r方向上，由dI_i产生的反射亮度为dL_r，随着入射方向和反射方向的不同，产生一个函数f_r，称双向反射分布函数，简称BRDF，表示为：



$$f_r = \frac{dL_r(\varphi_i\theta_i, \varphi_r\theta_r)}{dI_i(\varphi_i, \theta_i)}$$

地物波谱特征的测量

- 地物反射波谱测量理论
  - 双向反射分布函数（BRDF）

    对于给定的入射角和反射角，这一函数值表示在给定方向上每单位立体角内的反射率。f_r还是波长的函数。BRDF完全描述了反射空间分布特性的规律。但是由于BRDF函数值本身是两个无穷小量的比，且实际想要测量dI_i也十分困难，因此实际测量中很少采用。

地物波谱特征的测量

- 地物反射波谱测量理论
  - 双向反射比因子R（BRF）

这一函数比较容易测量，其定义是，在给定的立体角锥体所限制的方向内，在一定辐照度和观测条件下，目标的反射辐射通量与处于同一辐照度和观测条件下的**标准参考面**的反射辐射通量之比。而这一标准参考面即为前面讲过的朗伯反射面。

地物波谱特征的测量

- 地物光谱测量方法
  - 样品的实验室测量

实验室测量常用分光光度计，仪器由微机控制，测量数据也直接传给计算机。分光光度计的测量条件是一定方向的光照射，半球接收，因此获得的反射率与野外测定有区别。室内测量时要有严格的样品采集和处理过程。例如，植被样品要有代表性，采集后迅速冷藏保鲜，并在12h内送实验室测定；土壤和岩矿应按专业要求并制备成粉或块。

由于实验室的测量条件高，应用不够广泛。

地物波谱特征的测量

- 地物光谱测量方法
  - 野外测量
    - 垂直测量：为使所有数据能与航空、航天传感器所获得的数据进行比较，一般情况下测量仪器均用垂直向下测量的方法，以便与多数传感器采集数据的方向一致。由于实地情况非常复杂，测量时常将周围环境的变化忽略，认为实际目标与标准板的测量值之比就是反射率之比。

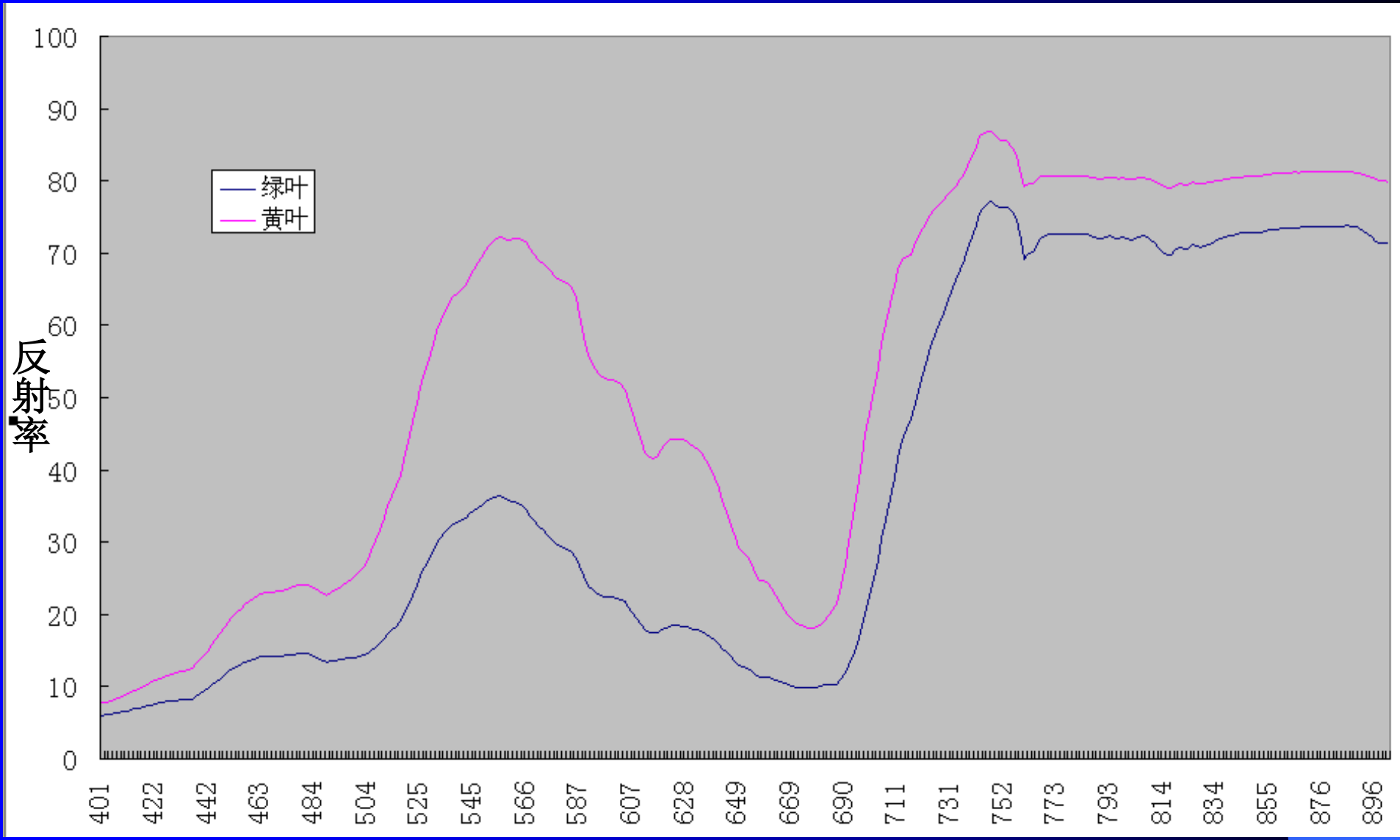
垂直测量所用标准板通常用硫酸钡或氧化镁制成，在反射天顶角≤45°时，接近朗伯体，并且经过计量部门标定，其反射率为已知值。因没有考虑入射角度变化时造成的反射辐射值的变化（对实际地物在一定程度上取近似朗伯体），其测量值也有一定的适用范围。







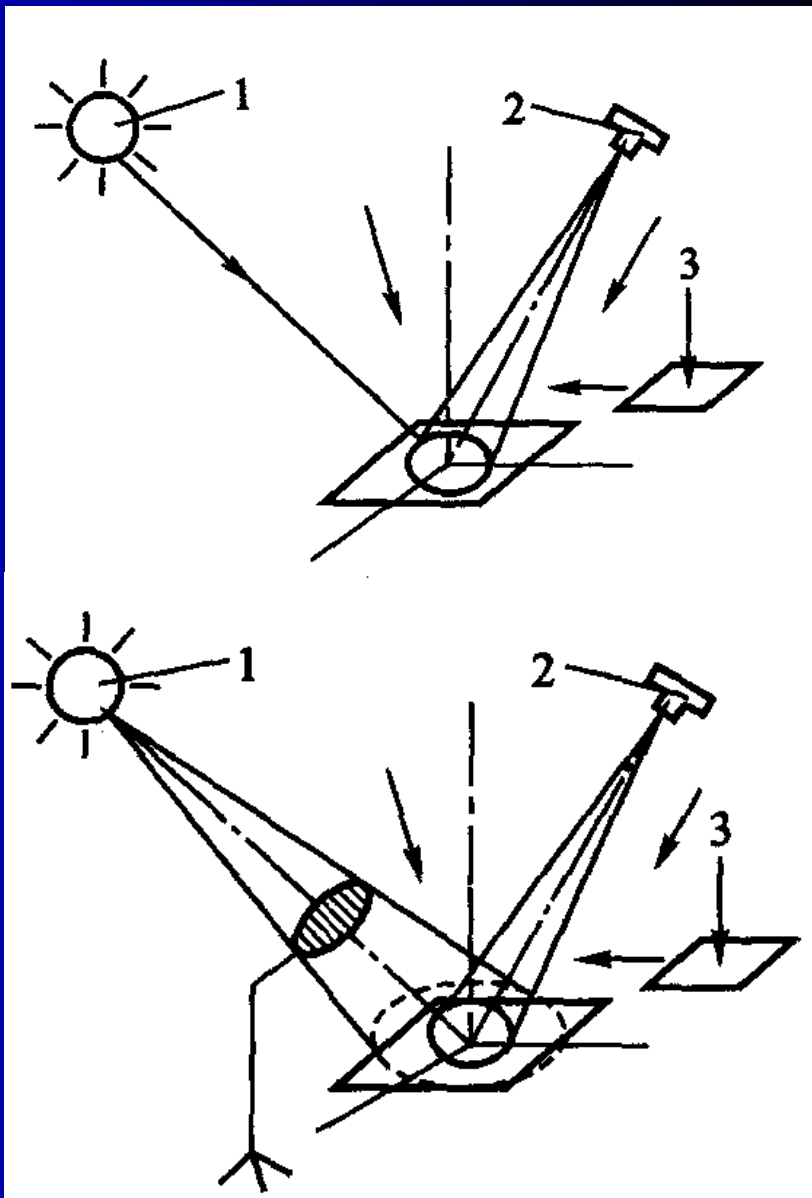



100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
反射率
绿叶
黄叶
401
422
442
463
484
504
525
545
566
587
607
628
649
669
690
711
731
752
773
793
814
834
855
876
896
波长/μm

地物波谱特征的测量

- 地物光谱测量方法
  - 野外测量
    - 非垂直测量：

在野外更精确的测量是测量不同角度的方向反射比因子，考虑到辐射到地物的光线由来自太阳的直射光（近似定向入射）和天空的散射光（近似半球入射），因此方向反射比因子取两者的加权和。



1. 太阳 2. 光谱辐射计 3. 标准白板

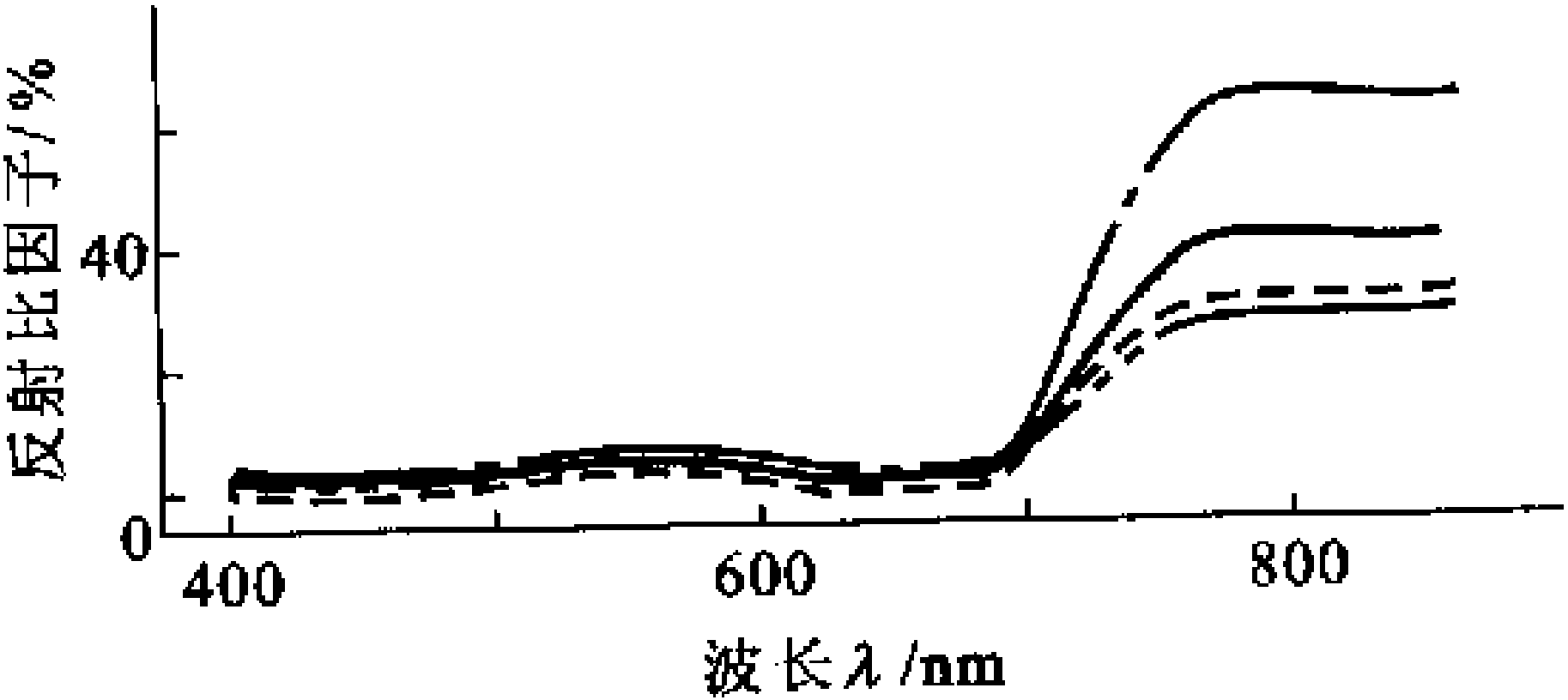
地物波谱特征的测量

$$R = K_1 R_S + K_2 R_D$$

$$K_1 = 1 - K_2$$

$$K_2 = I_D / I$$

- 地物光谱测量方法
  - 野外测量—非垂直测量步骤
    - 自然光照射时测量一次为I值；
    - 用挡板遮住太阳光使阴影盖过标准板，再测一次为I_D；
    - 自然条件下选择太阳方向和观测角在同一地面位置分别迅速测量标准板的辐射值和地物的辐射值，计算野外测量出的方向反射比因子R_S；
    - 用黑挡板遮住太阳直射光，在只有天空漫入射光时分别迅速测量标准板和地物的辐射值，计算比值得到漫入射的半球——定向反射比系数R_D；
    - 由公式计算出直射光照射下双向反射比因子R 。



小麦野外测量的R_D和R_S及室内测量的R_D和R_S曲线

组分光谱测量的实例分析

地物的反射率 = 地物的平均反射值/光照参考板的平均反射值*60

需要做的工作：

1.计算绿叶的反射率，生成反射光谱曲线

2.计算黄叶的反射率，生成反射光谱曲线

3.对比分析绿叶和黄叶的反射波谱曲线的差别

1. 测量仪器的介绍

1.1 测量仪器的硬件介绍：

美国StellarNet公司制造的EPP-2000 NIR-InGaAs-LT14、 VIS-25 CCD 和VIS-25 PDA微型光纤光谱仪。其中，InGaAs为近红外光谱仪，其观测范围为900nm至1700nm；而CCD和PDA为可见光光谱仪，其观测范围为350nm至1150nm。

仪器有1米、3米和5米的光纤连接光谱仪对样本采样，光纤视场均为25度。由于光纤存在一个25度的视场，在测量观测时，观察的区域是一个面而不是一个点。所以在测量时必须选择适当的观测距离和角度，保证观察面中的观测对象符合测量要求。

1.1 测量仪器的硬件介绍：

实验中使用仪器的技术参数								
EPP2000 光谱仪	光谱范围 nm	色散 g/mm	分辨率 nm	刻槽密度 μm	波段数	校正参数		
						C1	C2	C3
NIR-InGaAs-LT14	900-1700	250	2.19	10	512	3.33337	.000824	869.70
VIS-25 CCD	350-1150	600	0.97	10	2048	.69223	.000125	341.66
VIS-25 PDA	350-1150	600	0.97	25	2048	.70282	.000118	336.78
VIS-25 CCD	350-1150	600	0.97	25	2048	.69365	.000123	337.70

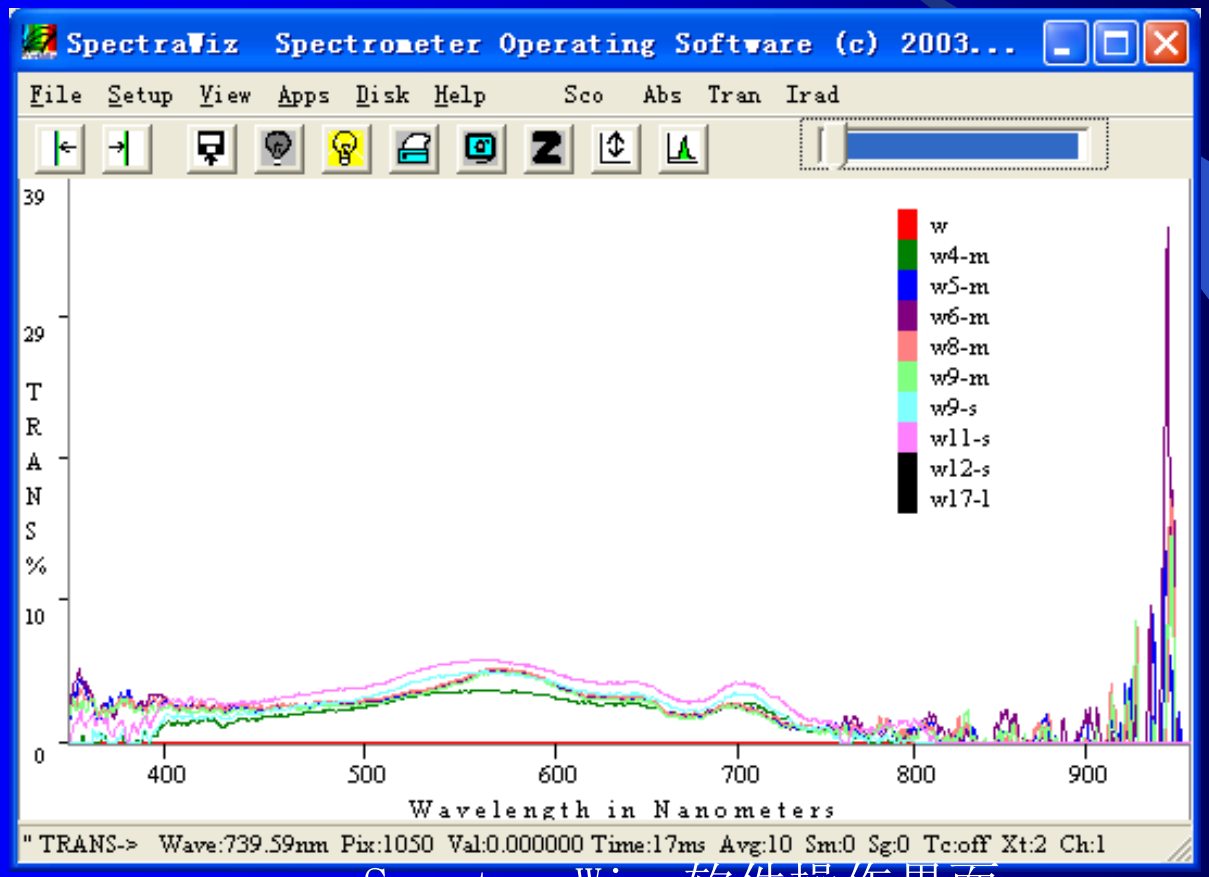
1.1 测量仪器的硬件介绍：



1.1 测量仪器的硬件介绍：



1.2 测量仪器的软件介绍



Spectra Wiz 软件操作界面

1.2 测量仪器的软件介绍

- 四大模块：
  - FILE模块：提供数据的保存、读取和打印功能；
  - SETUP模块：提供设置仪器参数和数据预处理参数的功能；
  - VIEW模块：提供设置光谱显示参数的功能；
  - APPS模块：室内光谱测量参数设制。

  在野外的实地测量中，我们一般只使用前三个模块的功能。

  其中，FILE模块用来保存光谱测量中需要记录的三类光谱：暗光谱、参考光谱和目标光谱；SETUP模块用来设置参数以确保仪器的正常工作；VIEW模块则为用户提供多角度观察光谱的显示模式。

1.2 测量仪器的软件介绍

- 多种参数设置：

  Spectra Wiz软件中提供了许多设置参数来控制各种不同的功能，例如：

  - Detector integration time （TIME）设定光谱仪输出信号功率；
  - Spectral smoothing controls （SIM）设定光谱曲线平滑算子；
  - Number of scans to average （AVG）设定光谱平均采样次数；

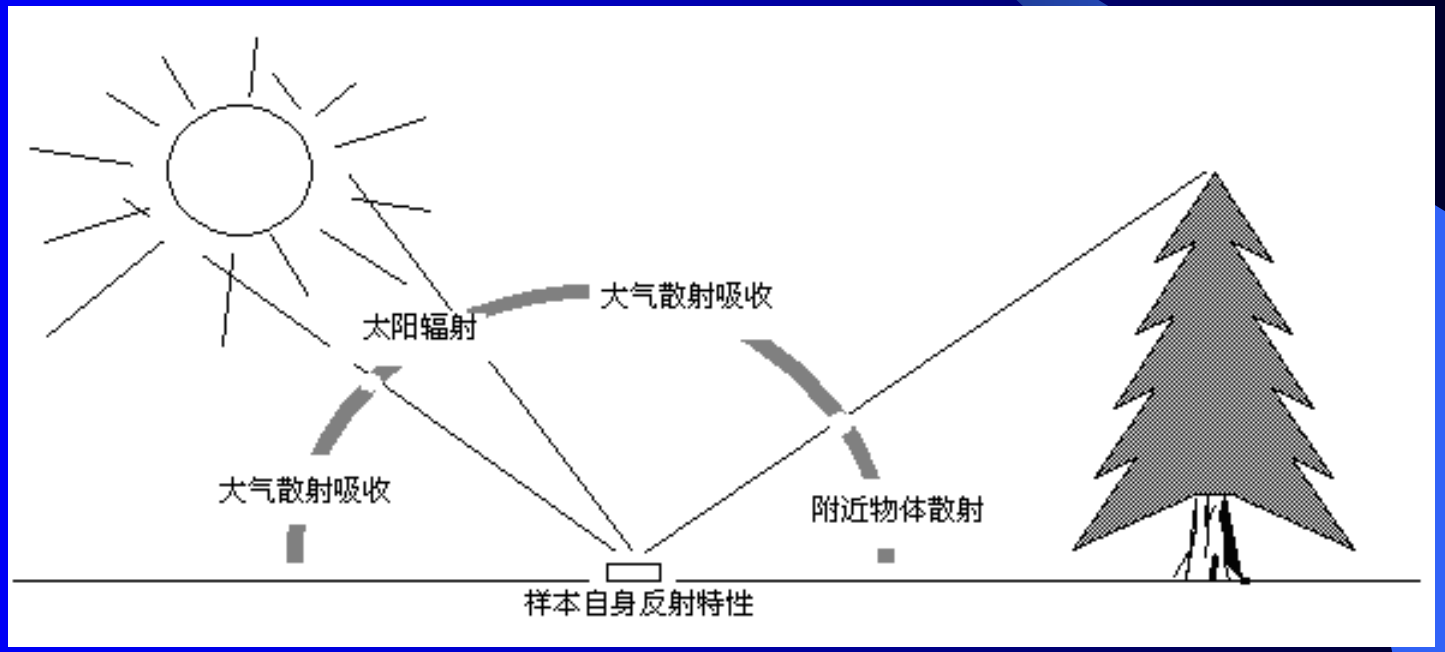
  合理的设置这些参数，能够起到事半功倍的效果。例如，选择适当的TIME和AVG参数值，能使仪器在较短的时间内获得高信噪比的数据，这样便为数据的后期处理减轻了负担。

2、 影响样本光谱的因素

在光谱的采集过程中，对我们所感兴趣的样本产生影响的因素很多，而且关系非常复杂。这些因素中，有些是可以在数据的处理过程中削弱和去除的，而有些因素产生的影响却是无法估计和处理的。所以在采集样本光谱时，我们必须考虑到各种因素，尽量避免一些无法定量的因素对最终结果产生影响。

2 影响样本光谱的因素

我们将对样本光谱产生影响的因素分为了三类，分别是大气因素、周围物体的散射因素和物体自身反射特性因素。如图：



其中，大气因素和周围物体的散射因素都属于影响样本光谱的环境因素。

2.1 大气因素对观测的影响

大气干扰地物光谱测量的因素主要包括：

- 大气中各种气体分子对太阳辐射的吸收；
- 云层对太阳辐射的吸收和散射；
- 风对被测物体的物理状态的影响。

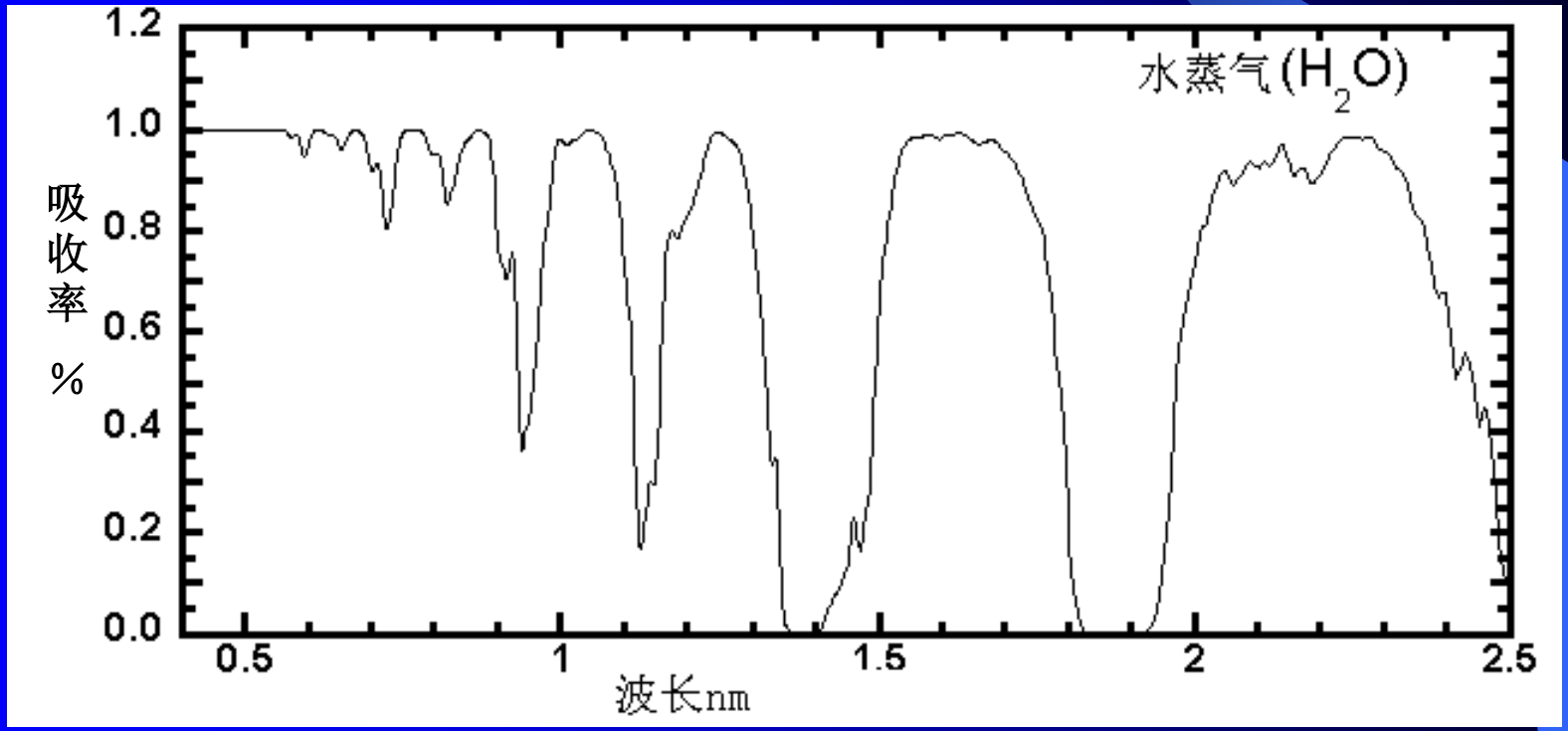
2.1 大气因素对观测的影响

- 大气中各种气体分子对太阳辐射的吸收；

  气体分子吸收对太阳辐射的影响非常强烈，阳光通过大气层的路径越长，其吸收作用就越强。

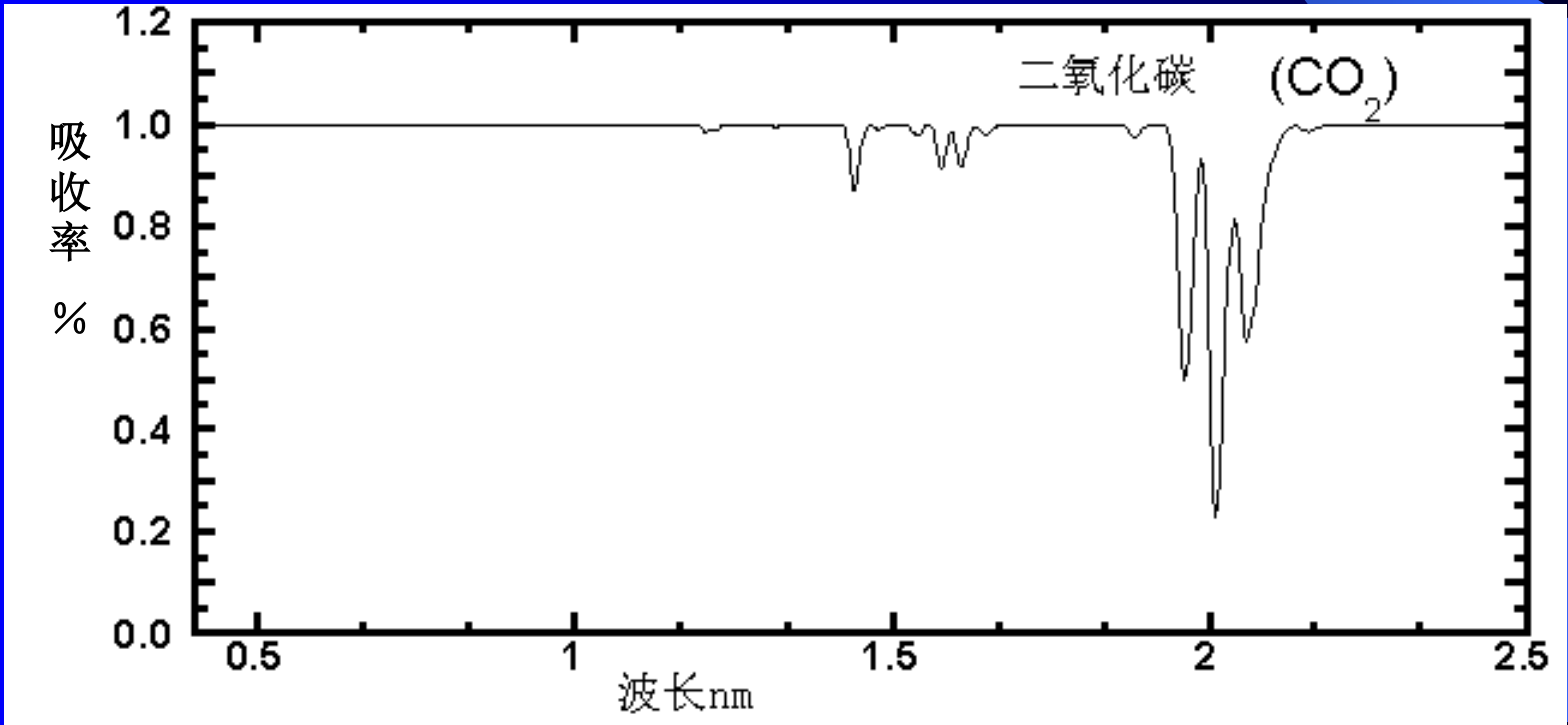
2.1 大气因素对观测的影响

水蒸气（H_2O）对太阳辐射的吸收是所有气体中最强的，它对进入大气窗口的所有波段都有一定的影响，且随着空间和时间的变化而不断改变。



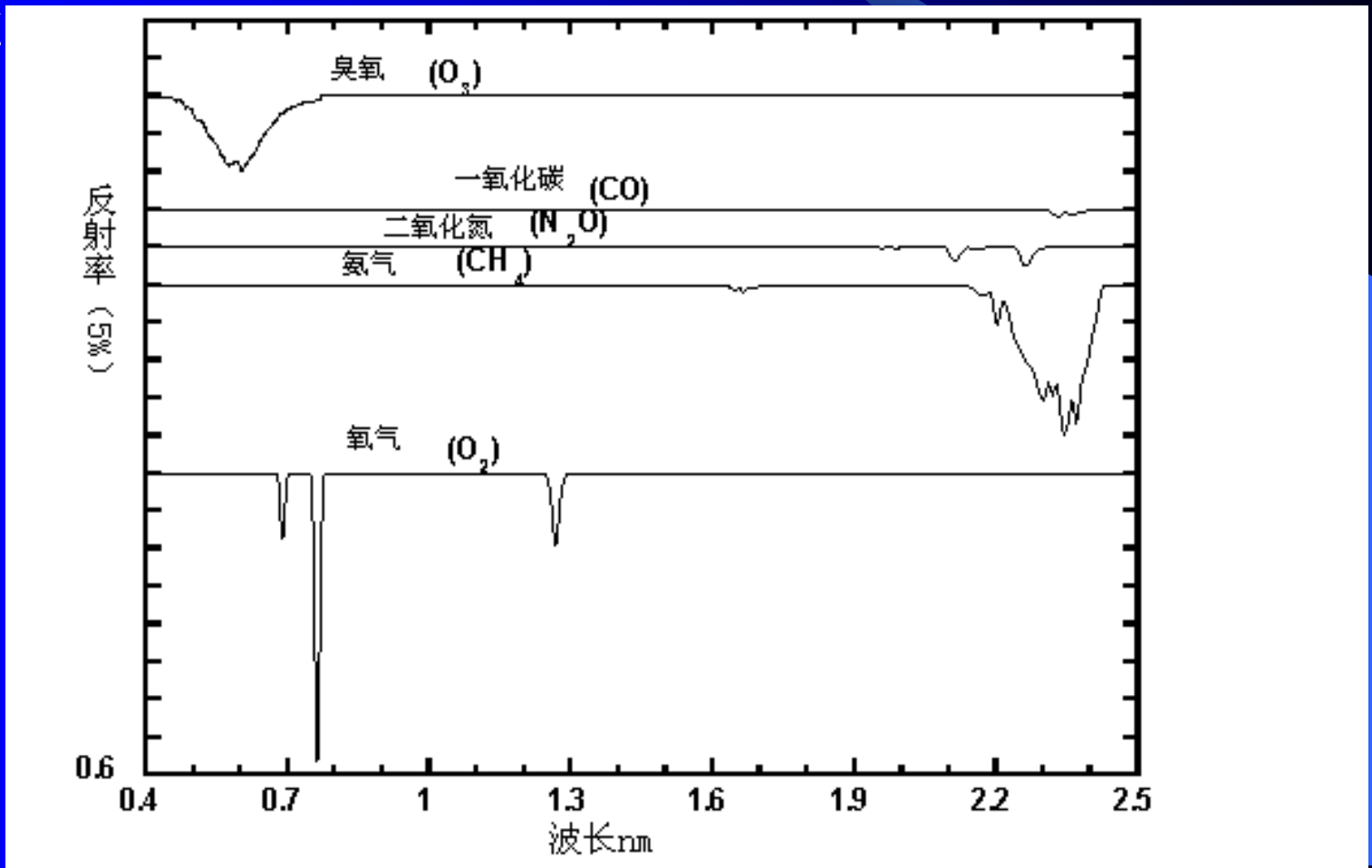
2.1 大气因素对观测的影响

二氧化碳（CO_2）在2000-2200nm范围内有强烈的吸收性，这增加了对碳酸矿物质和溶解性有机盐的研究难度。但是和水蒸气相比，二氧化碳的吸收特性非常稳定，是容易掌握的。



2.1 大气因素对观测的影响

大气中其它气体对太阳辐射都有一定的影响，但特征和影响程度都不及这两种气体



2.1 大气因素对观测的影响

- 云层对太阳辐射的吸收和散射；

测量过程中云层的出现会使得大气中水蒸气的吸收特征变化得更快。大量水蒸气的出现，会对测量参考光谱和样本光谱的太阳辐射产生不同的影响，从而导致了样本反射率出现错误。尽量缩短采参比和采样本光谱之间的时间间隔可以减小由于这种原因造成的误差。

积分时间

当云层过厚时，云层本身便可以遮挡太阳的辐射，降低大气散射光强。此时采集的光谱的准确性很低，应当尽量避免在阴天进行外业光谱采集。

2.1 大气因素对观测的影响

- 风对被测物体的物理状态的影响。

在采集样本光谱的过程中，因为风的影响被测物体的位置和姿态发生了改变，同样会产生测量误差。在光谱仪积分时间和光谱平均采样次数的参数设置过大时，因为风产生的误差就更加严重。这种现象经常发生在测量植被冠层和水面时。

因此，在应当尽量避免在风力过大的天气进行外业测量；在有风的情况下测量时，应当尽量缩短采样的时间间隔。

2.2 周围地物对观测的影响

在外业光谱测量中，如何选择一个好的测量环境至关重要，因为周围环境对样本光谱的影响程度直接关系到测量结果的精度。

除了太阳辐射以外，人和测量仪器是样本的重要光源之一，所以在测量时测量人员应当按照顺序进入采样区域，并着深色服装，避免对样本光谱的干扰。

当然周围的地物也有可能对被测物体产生影响。例如在水面光谱测量的过程中，由于波浪造成的水面不平整，会使周围的地物的倒影通过镜面反射被光纤采集从而影响测量结果。

2.3 物体自身的物理特性

物体表面的纹理和结构会影响其反射光强的能力。和一个平滑的表面相比，粗糙的表面能够散射更多来自太阳和周围其他地物的能量。物体散射能量的能力随着角度的不同亦不同。所以选择一个能够代表物体自然状态的样本，采用一个固定的观察角度是十分重要的。

3) 同类地物的反射光谱具有相似性，但也有差异性。不同植物；植物病虫害

4) 地物的光谱特性具有时间特性和空间特性。

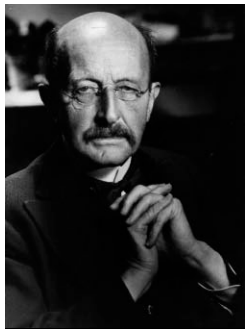
- 时间特性
- 空间特性

（二）、地物的发射光谱特性

地物发射电磁波的能力以发射率作为衡量标准；地物的发射率是以黑体辐射作为参照标准。

1. 黑体：在任何温度下，对各种波长的电磁辐射的吸收系数等于1（100%）的物体。
2. 黑体辐射(Black Body Radiation)：黑体的热辐射称为黑体辐射。

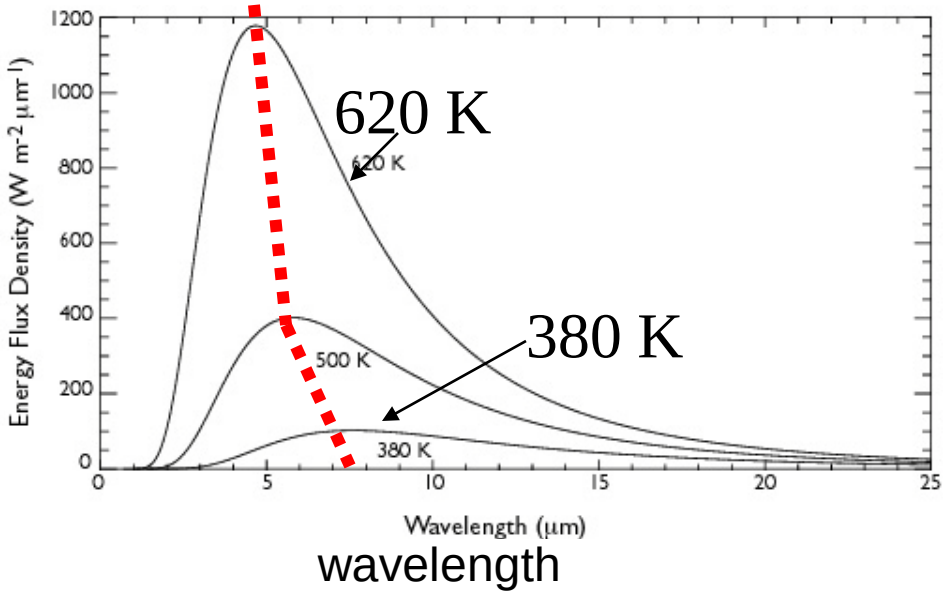
1. Power Source: Blackbody Radiation



Max Planck (1858 – 1947)
Nobel Prize 1918

Planck's Law:

The amount and spectrum of radiation emitted by a blackbody is uniquely determined by its temperature



wavelength

Emission from warm bodies peak at short wavelengths

3、黑体辐射定律

(1)朗克（Planck .M）热辐射定律

表示出了黑体辐射通量密度与温度的关系以及按波长分布的规律。

$$W_\lambda(\lambda、T)=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\cdot\frac{1}{e^{ch/\lambda kT}-1}$$

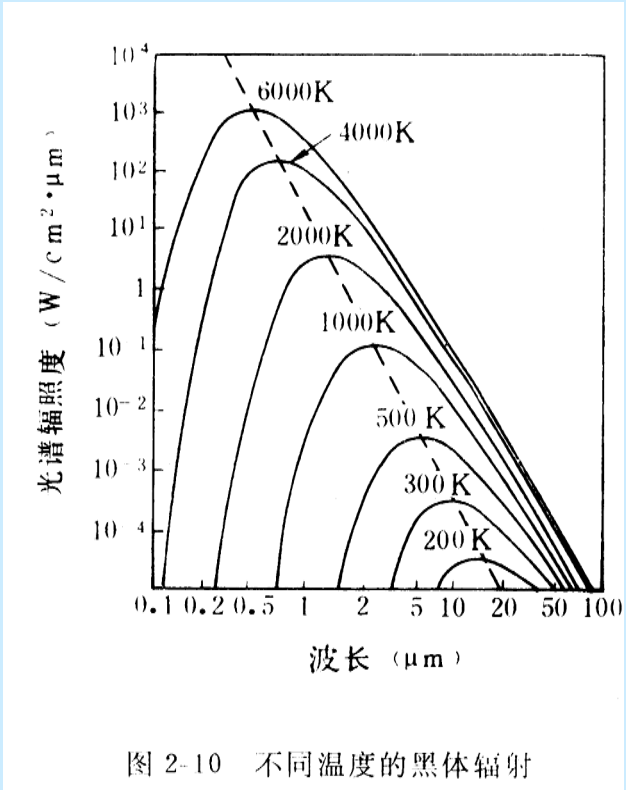


图 2-10　不同温度的黑体辐射

黑体辐射的三个特性（p_{20}）

A. 辐射通量密度随波长连续变化，每条曲线只有一个最大值。

B. 温度越高，辐射通量密度越大，不同温度的曲线不同。

C. 随着温度的升高，辐射最大值所对应的波长向短波方向移动。

(2) 玻耳兹曼定律

Stefan-Boltzmann's law

即黑体总辐射通量随温度的增加而迅速增加，它与温度的四次方成正比。因此，温度的微小变化，就会引起辐射通量密度很大的变化。是红外装置测定温度的理论基础。

$$W_0 = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda kT} - 1} d\lambda = \sigma T^4$$

(3) 维恩位移定律：Wien's displacement law

随着温度的升高，辐射最大值对应的峰值波长向短波方向移动。

$$\lambda_{\max} \bullet T = b$$

温度	300	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
波长	9。66	5。80	2。90	1。45	0。97	0。72	0。58	0。48	0。41

4、地物的发射率和基尔霍夫定律

1) 发射率(Emissivity)：

地物的辐射出射度（单位面积上发出的辐射总通量）W与同温下的黑体辐射出射度$W_{黑}$的比值。它也是遥感探测的基础和出发点。

$$\varepsilon = \frac{W}{W_{黑}}$$

2) 影响地物发射率的因素：

地物的发射率与地物的性质、表面状况（如粗糙度、颜色等）有关，且是温度（比热、热惯量）和波长的函数。例如：同一地物，其表面粗糙或颜色较深的，发射率往往较高，表面光滑或颜色浅的，发射率则较小。

比热是指物质储存热的能力。热惯量是度量物质热惰性大小的物理量，也是两种物质界面上热传导速率的一种度量。比热大，热惯量大，以及具有保温作用的地物，一般发射率大，反之发射率就小。

按照发射率与波长的关系，把地物分为：

- 黑体或绝对黑体：发射率为1，常数。
- 灰体(grey body)：发射率小于1，常数
- 选择性辐射体：反射率小于1，且随波长而变化。

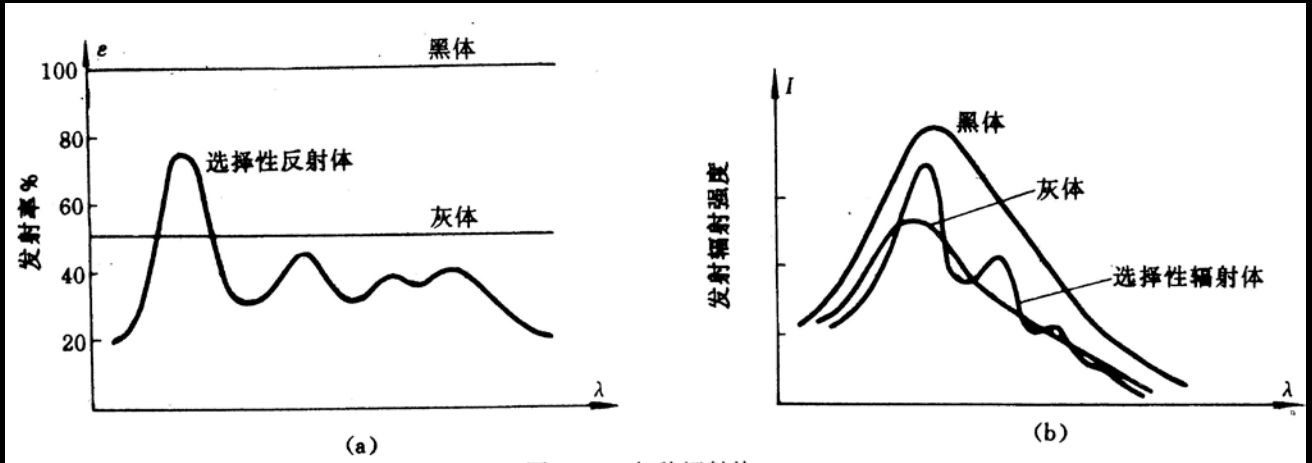


图 2-11　各种辐射体

2) **基尔霍夫定律**：在一定温度下，地物单位面积上的辐射通量W和吸收率之比，对于任何物体都是一个常数，并等于该温度下同面积黑体辐射通量$W_{黑}$。

$$\frac{W}{\alpha}=W_{黑} \qquad \varepsilon=\frac{W}{W_{黑}} \Rightarrow \varepsilon=\alpha$$

在给定的温度下，物体的发射率=吸收率（同一波段）；吸收率越大，发射率也越大。

$$\Rightarrow W=\varepsilon\sigma T^4$$

地物的热辐射强度与温度的四次方成正比，所以，地物微小的温度差异就会引起红外辐射能量的明显变化。这种特征构成了红外遥感的理论基础。

5、黑体的微波辐射

1) 任何物体在一定的温度下，不仅向外发射红外辐射，也发射微波辐射。二者基本相似。但微波是地物低温状态下的重要辐射特性，温度越低，微波辐射越明显。
2) 微波辐射比红外辐射弱得多，但技术上可以经过处理来接收。

3) 瑞里—金斯公式

黑体辐射的微波功率与温度成正比，与波长的平方成反比。

$$W_{(\lambda)} = \frac{2kT}{\lambda^2}$$

k—玻耳兹曼常量；

T—绝对温度（k）；

λ—波长（μm）

微波波段与红外波段发射率的比较：不同地物之间微波发射率的差异比红外发射率要明显得多，因此，在可见光和红外波段中不易识别的地物，在微波波段中则容易识别。（表2-6）

表 2-6　不同地物微波波段与红外波段发射率的比较

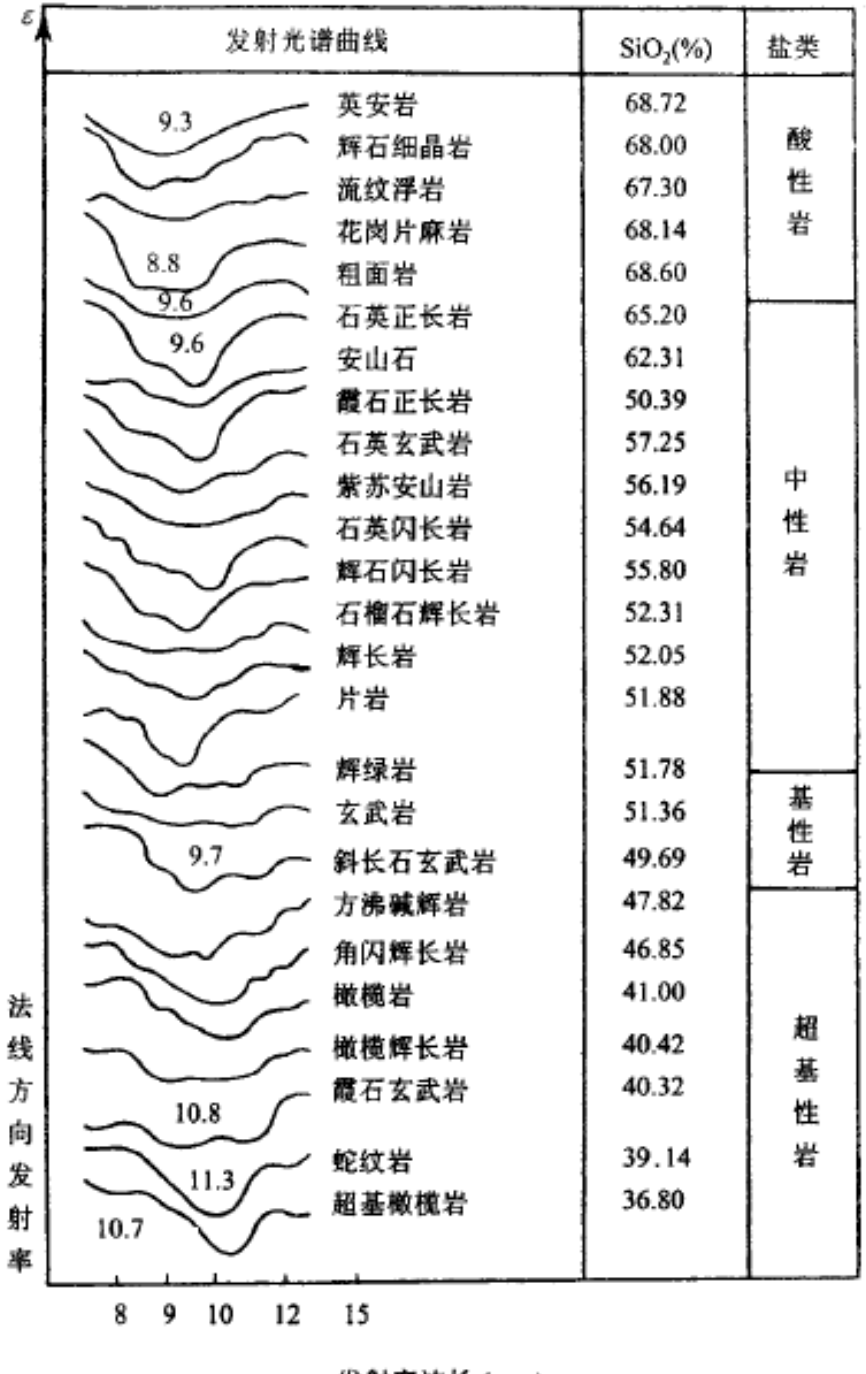
地物 \ 波段	波段			
	微波		红外	
	λ＝3cm	λ＝3mm	λ＝10μm	λ＝4μm
钢	0.00	0.00	0.6—0.9	0.6—0.9
水	0.38	0.63	0.99	0.96
干沙	0.90	0.86	0.95	0.83
混凝土	0.86	0.92	0.90	0.91

（三）、地物的发射光谱

① 发射光谱：地物的发射率随波长变化的规律。

② 发射光谱曲线：按照发射率和波长之间的关系绘成的曲线。

③ 岩石的发射光谱分析（图2-12）


ε
发射光谱曲线
SiO2(%)
盐类
英安岩 68.72
辉石细晶岩 68.00
流纹浮岩 67.30
花岗片麻岩 68.14
粗面岩 68.60
石英正长岩 65.20
安山石 62.31
霞石正长岩 50.39
石英玄武岩 57.25
紫苏安山岩 56.19
石英闪长岩 54.64
辉石闪长岩 55.80
石榴石辉长岩 52.31
辉长岩 52.05
片岩 51.88
辉绿岩 51.78
玄武岩 51.36
斜长石玄武岩 49.69
方沸碱辉岩 47.82
角闪辉长岩 46.85
橄榄岩 41.00
橄榄辉长岩 40.42
霞石玄武岩 40.32
蛇纹岩 39.14
超基橄榄岩 36.80
酸性岩
中性岩
基性岩
超基性岩
9.3
8.8
9.6
9.6
9.7
10.8
11.3
10.7
法线方向发射率
8 9 10 12 15
发射率波长 (μm)

亮度温度：衡量地物辐射特征的重要指标。指等物体的辐射功率等于某一黑体的辐射功率时，该黑体的绝对温度即为亮度温度。

The temperature of the black body which radiates the same radiant energy as an observed object is called the **brightness temperature** of the object.

亮度温度与实地温度的关系：总小于实地温度。

$$T_B = \varepsilon T$$

（四）、地物的透射光谱特性

- **透射率**： 入射光透射过地物的能量与入射总能量的百分比。
- 透射率随着电磁波的波长和地物的性质而不同。
- 可见光、红外、微波的透射能力。

  一般情况下，绝大多数地物对可见光都没有透射能力。红外线只对具有半导体特征的地物，才有一定的透射能力。微波对地物具有明显的透射能力，这种透射能力主要由入射波的波长而定。

四、大气和环境对遥感的影响

- 大气的成分和结构
- 大气对太阳辐射的影响
- 大气窗口
- 环境对地物光谱特性的影响

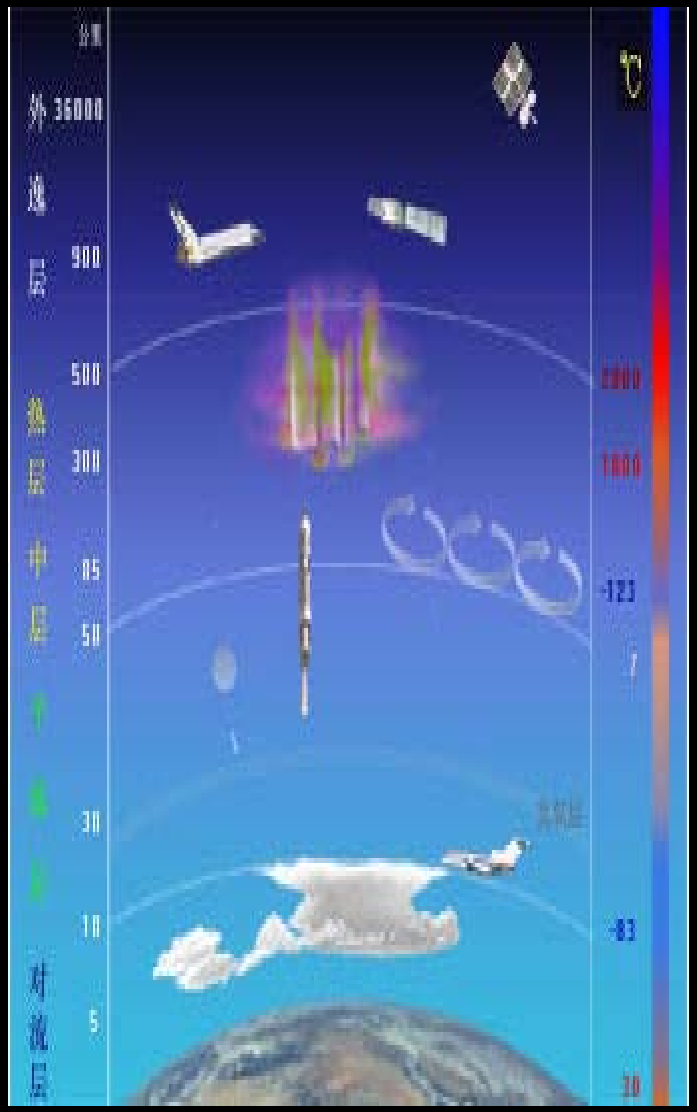
（一）、大气的成分

- 大气的传输特性：大气对电磁波的吸收、散射和透射的特性。这种特性与波长和大气的成分有关。
- 大气的成分：多种气体、固态和液态悬浮的微粒混合组成的。
- 大气物质与太阳辐射相互作用，是太阳辐射衰减的重要原因。

（三）、大气的结构

大气厚度约为1000km,从地面到大气上界，可垂直分为4层：

- **对流层**：高度在7～12 km,温度随高度而降低，空气明显垂直对流，天气变化频繁，航空遥感主要在该层内。上界随纬度和季节而变化。
- **平流层**：高度在12～50 km，没有对流和天气现象。底部为同温层（航空遥感活动层），同温层以上为暖层，温度由于臭氧层对紫外线的强吸收而逐渐升高。
- **电离层**：高度在50～1 000 km，大气中的O_2、N_2受紫外线照射而电离，对遥感波段是透明的，是陆地卫星活动空间。
- **大气外层**：800～35 000 km ,空气极稀薄，对卫星基本上没有影响。



（三）、大气对太阳辐射的影响

- 太阳辐射的衰减过程：30%被云层反射回；17%被大气吸收；22%被大气散射；31%到达地面。（图2-3）
- 大气的透射率公式：透射率与路程、大气的吸收、散射有关。太阳辐射通过大气的透射率（τ）为：

$$\tau = e^{-(\alpha+\gamma)x} \qquad (1-3-28)$$

式中 $(\alpha+\gamma)$——衰减系数，它是随波长不同而变化，总趋势是随波长的增大，大气衰减系数减少；

α——大气中气体分子对太阳辐射的吸收系数；

γ——大气中气体分子，液态和固体杂质等对太阳辐射的散射系数；

x——路程长度（即通过大气的厚度）；

e——自然对数的底。

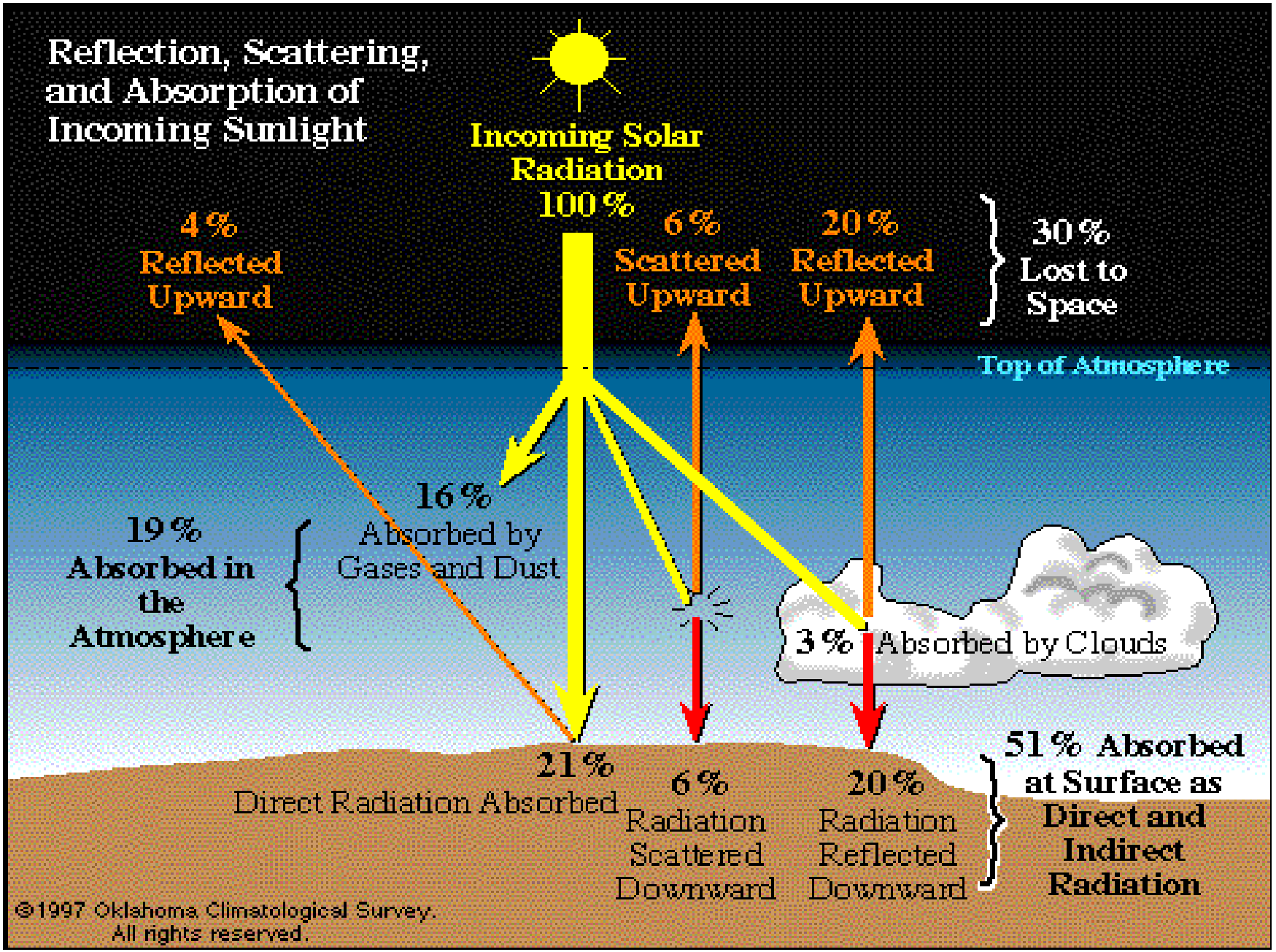

Reflection, Scattering, and Absorption of Incoming Sunlight
Incoming Solar Radiation 100%
4% Reflected Upward
6% Scattered Upward
20% Reflected Upward
30% Lost to Space
Top of Atmosphere
16% Absorbed by Gases and Dust
19% Absorbed in the Atmosphere
3% Absorbed by Clouds
21% Direct Radiation Absorbed
6% Radiation Scattered Downward
20% Radiation Reflected Downward
51% Absorbed at Surface as Direct and Indirect Radiation
©1997 Oklahoma Climatological Survey. All rights reserved.

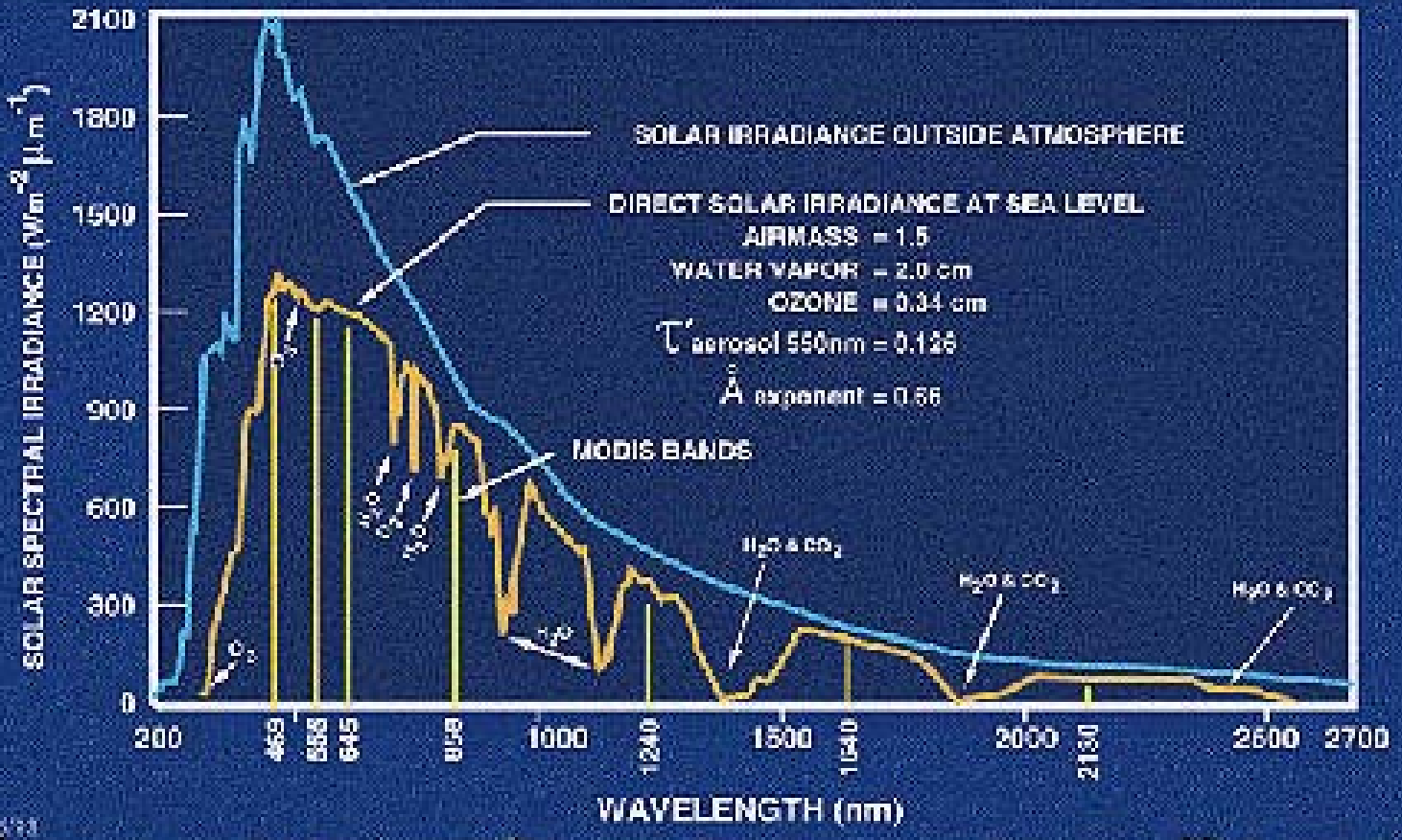
表 1－2－1　太阳辐射能各谱段的百分比

λ	波　　段	%
< 10A	X 射线、γ 射线	0.02
10 ~ 2000A	远紫外	
0.20 ~ 0.31μm	中紫外	1.95
0.31 ~ 0.38μm	近紫外	5.32
0.38 ~ 0.72μm	可见	43.50
0.72 ~ 1.5μm	近红外	36.80
1.5 ~ 5.6μm	中红外	12.00
5.6 ~ 1000μm	远红外	0.41
> 1000μm	微波	

到达地球大气外边界的太阳辐射，约 30% 被云层和其他大气成分反射返回太空；约有 17% 的太阳能入射辐射被地球大气吸收；还有 22% 被散射并成为漫射辐射到达地球表面。因此，在进入地球外边界的太阳辐射中仅有 31% 作为直射太阳辐射到达地球表面。

烟台师范学院地理与资源管理学院

LAND-SOLAR RADIATION



1、大气的吸收作用

A. 氧气：小于0.2 μm；0.155为峰值。高空遥感很少使用紫外波段的原因。

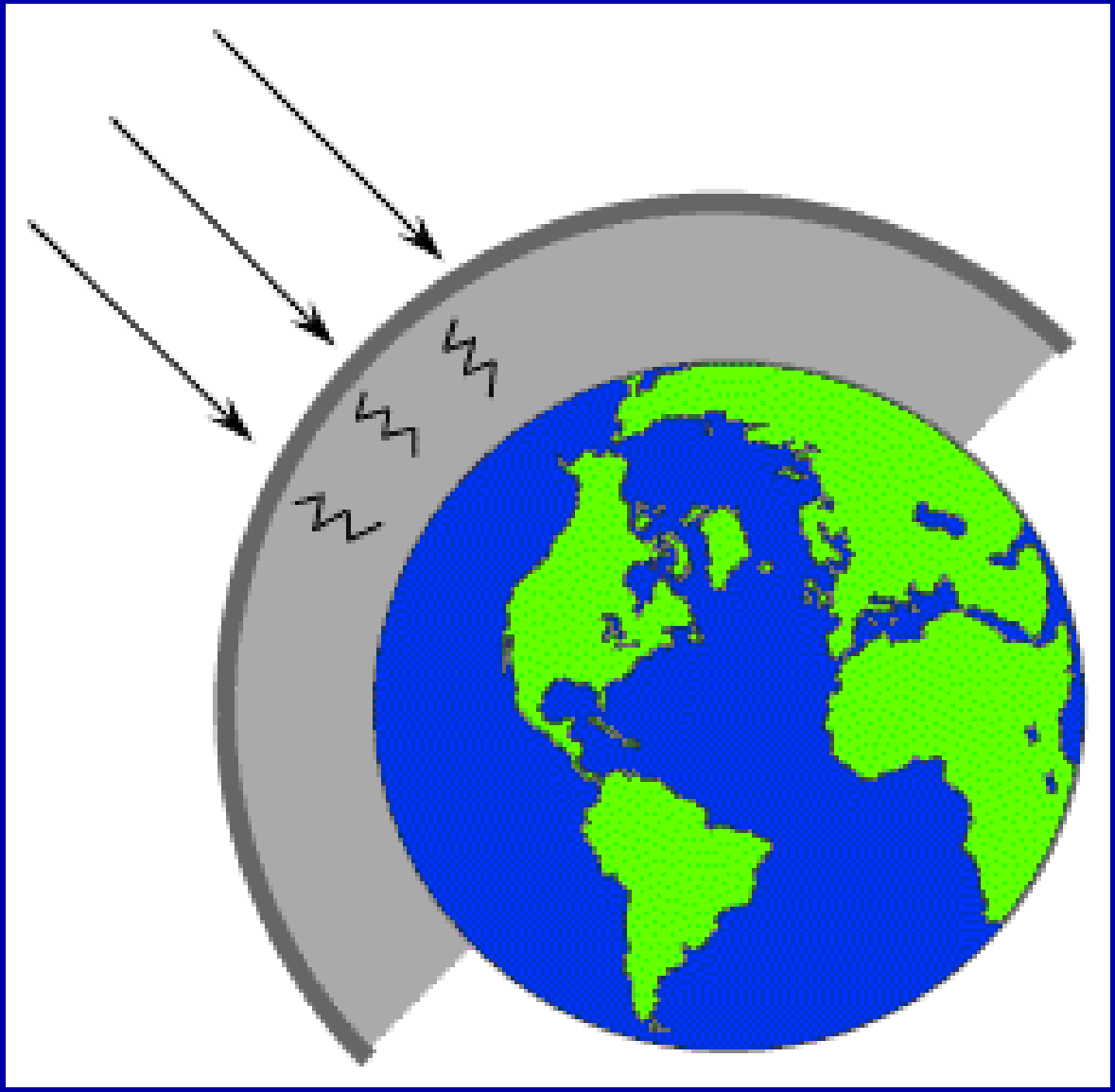
B. 臭氧：数量极少，但吸收很强。两个吸收带；对航空遥感影响不大。

C. 水：吸收太阳辐射能量最强的介质。到处都是吸收带。主要的吸收带处在红外和可见光的红光部分。因此，水对红外遥感有极大的影响。

D. 二氧化碳：量少；吸收作用主要在红外区内。可以忽略不计。

Absorption

- In contrast to scatter, atmospheric absorption results in the effective loss of energy to atmospheric constituents.
- This normally involves absorption of energy at a given wavelength.
- The most efficient absorbers of solar radiation in this regard are:
  - Water Vapour
  - Carbon Dioxide
  - Ozone



Absorption of EM energy by the atmosphere

2、大气散射

- 散射的概念：电磁波与物质相互作用后电磁波偏离原来的传播方向的一种现象。
- 不同于吸收作用，只改变传播方向，不能转变为内能。
- 大气的散射是太阳辐射衰减的主要原因。
- 对遥感图像来说，降低了传感器接收数据的质量，造成图像模糊不清。
- 散射主要发生在可见光区。
- 大气发生的散射主要有三种：

  瑞利散射：$d \ll \lambda$

  米氏散射：$d \approx \lambda$

  非选择性散射：$d \gg \lambda$

大气散射集中于太阳辐射能量较强的可见光区。因此，大气对太阳辐射的散射是太阳辐射衰减的主要原因，散射强度可用散射系数（γ）表示，散射系数与电磁波波长有下列关系

$$\gamma \propto \frac{1}{\gamma^{\varphi}} \qquad (1-3-29)$$

式中 φ 为波长的指数，它由大气微粒直径（d）的大小决定。

根据辐射的波长与散射微粒的大小之间的关系，散射作用可分为三种：瑞利散射、米氏散射和非选择性散射。

- 瑞利散射：

当微粒的直径（d）比辐射波长（λ）小得多时，此时散射为瑞利散射。即 $d < \lambda/10$。公式（1－3－29）中 $\varphi=4$，$\gamma \propto \frac{1}{\lambda^4}$，主要是由大气分子对可见光的散射引起的。所

由于气体分子的尺度远小于光波的波长时发生的散射，属小颗粒散射。也叫做分子散射。

- 小颗粒散射的特征：

（1）散射光强度与波长4次方成反比，由此可以解释天空为什么呈蓝色。

（2）如果入射光的为自然光，散射光的相函数为（$1+\cos^2\Theta$）。

（3）当Θ取0或180°时，散射光的偏振度为0。

（4）当Θ取90°时，散射光的偏振度为1（线偏振），其它角度为部分偏振光。

- 米氏散射：

当微粒的直径与辐射光的波长差不多时（即 $d \approx \lambda$），公式（1－3－29）中，$\varphi = 2$，$\gamma \propto \frac{1}{\lambda^2}$，称为米氏散射。它是由大气中气溶胶所引起的散射。由于大气中云、雾等悬浮

- 大气中的气溶胶颗粒，云滴，雨云滴等的直径与入射光的波长可以比拟或大于入射光的波长时发生的散射。
- 米氏散射的特征：

（1）电磁波可以穿透介质表面而深入到散射颗粒的内部。

（2）由于颗粒尺度与波长可以比拟，所以颗粒的不同部位往往处在不同的电场强度下，导致诱发电流的产生，一方面这高度电流会产生高变的磁场，另一方面电流的存在意味着焦耳热损耗的出现——电磁波的吸收。

- 散射率与波长的四次方成反比，因此，瑞利散射的强度随着波长变短而迅速增大。紫外线是红光散射的30倍，0.4微米的蓝光是4微米红外线散射的1万倍。
- 瑞利散射对可见光的影响较大，对红外辐射的影响很小，对微波的影响可以不计。
- 多波段中不使用蓝紫光的原因：

颜色	红	橙黄	黄	绿	青兰	紫	紫外线
波长	0.7	0.62	0.57	0.53	0.47	0.4	0.3
散射率	1	1.6	2.2	3.3	4.9	5.4	30.0

- 无云的晴天，天空为什么呈现蓝色？
- 朝霞和夕阳为什么都偏橘红色？

❖ 无选择散射：

- 当微粒的直径比波长大得多时（即d>λ）所发生的散射称为非选择性散射。公式(1-3-29)中，φ=0，散射系数为一常数，散射与波长无关，即任何波长散射强度相同。
- 如大气中的水滴、雾、烟、尘埃等气溶胶对太阳辐射，常常出现这种散射。常见到的云或雾都是由比较大的水滴组成的，符合d>λ，云或雾之所以看起来是白色，是因为它对各种波长的可见光散射均是相同的。
- 对近红外、中红外波段来说，由于d>λ，所以属非选择性散射，这种散射将使传感器接收到的数据严重的衰减。

大气散射的特点

- 群体散射强度是个体散射强度的线性和。
- 大气散射系数与高度的关系：

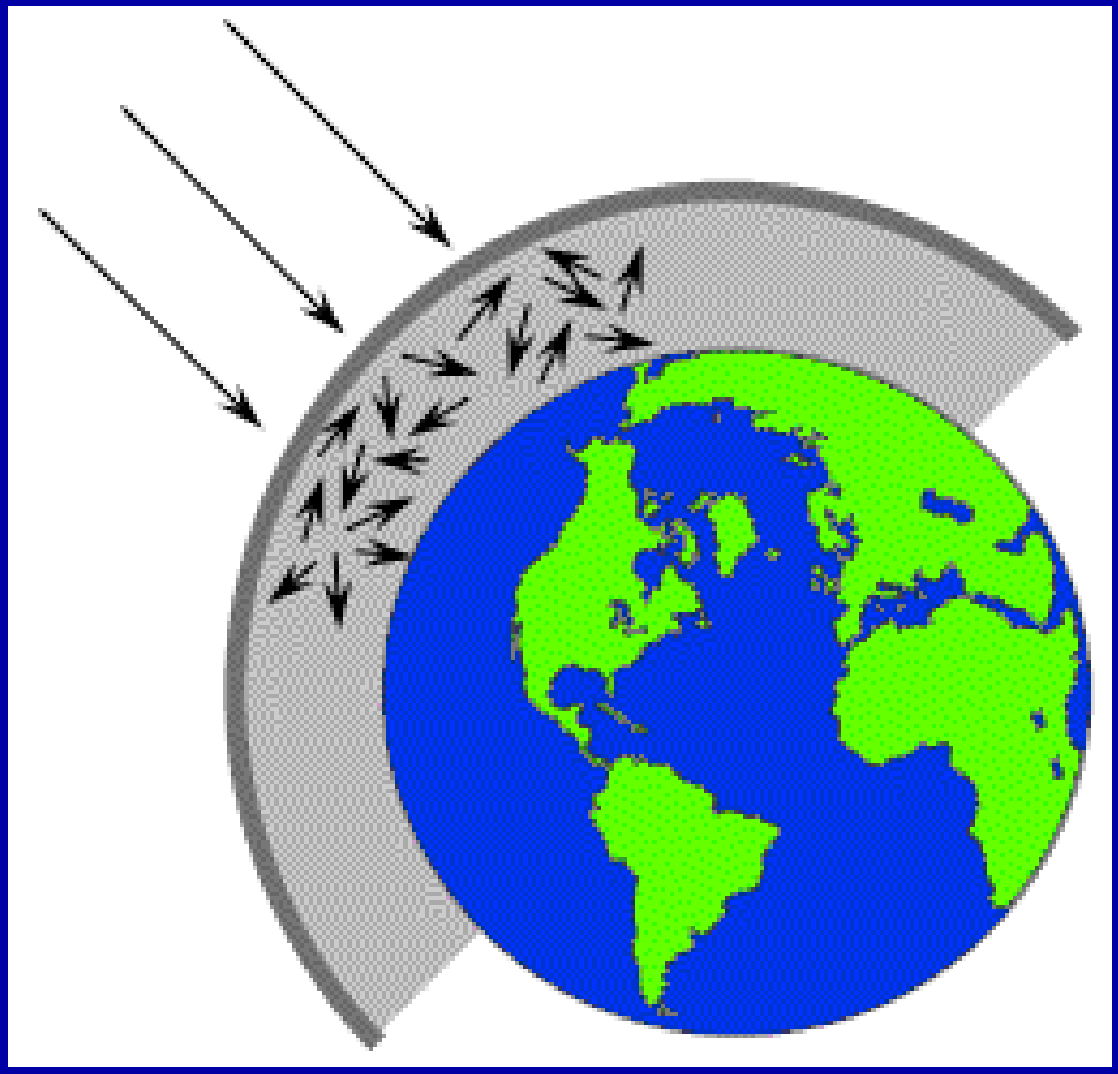
  —大气散射系数由分子散射和气溶胶散射两部分组成。

  —气溶胶颗粒密度随高度呈指数衰减。

  —就平均状况而言，4km以下的气溶胶米氏散射占优势，4km以上的分子散射占相对优势。
- 分子散射与气溶胶散射光强之比随角度和能见度的变化规律。

Scattering

- Atmospheric scattering is the unpredictable diffusion of radiation by particles in the atmosphere.
- Three types of scattering can be distinguished, depending on the relationship between the diameter of the scattering particle (**a**) and the wavelength of the radiation (λ).

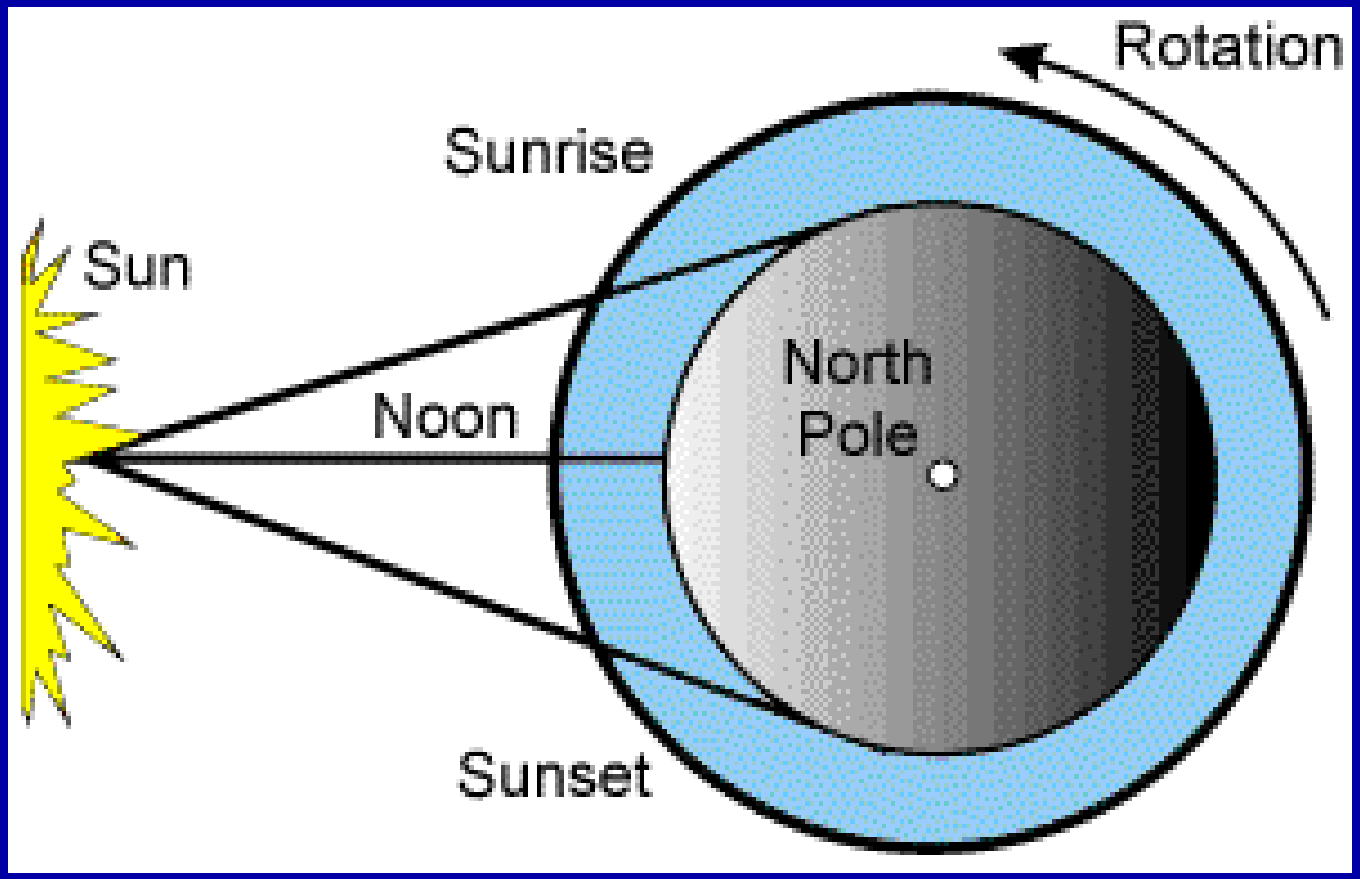


Scattering of EM energy by the atmosphere

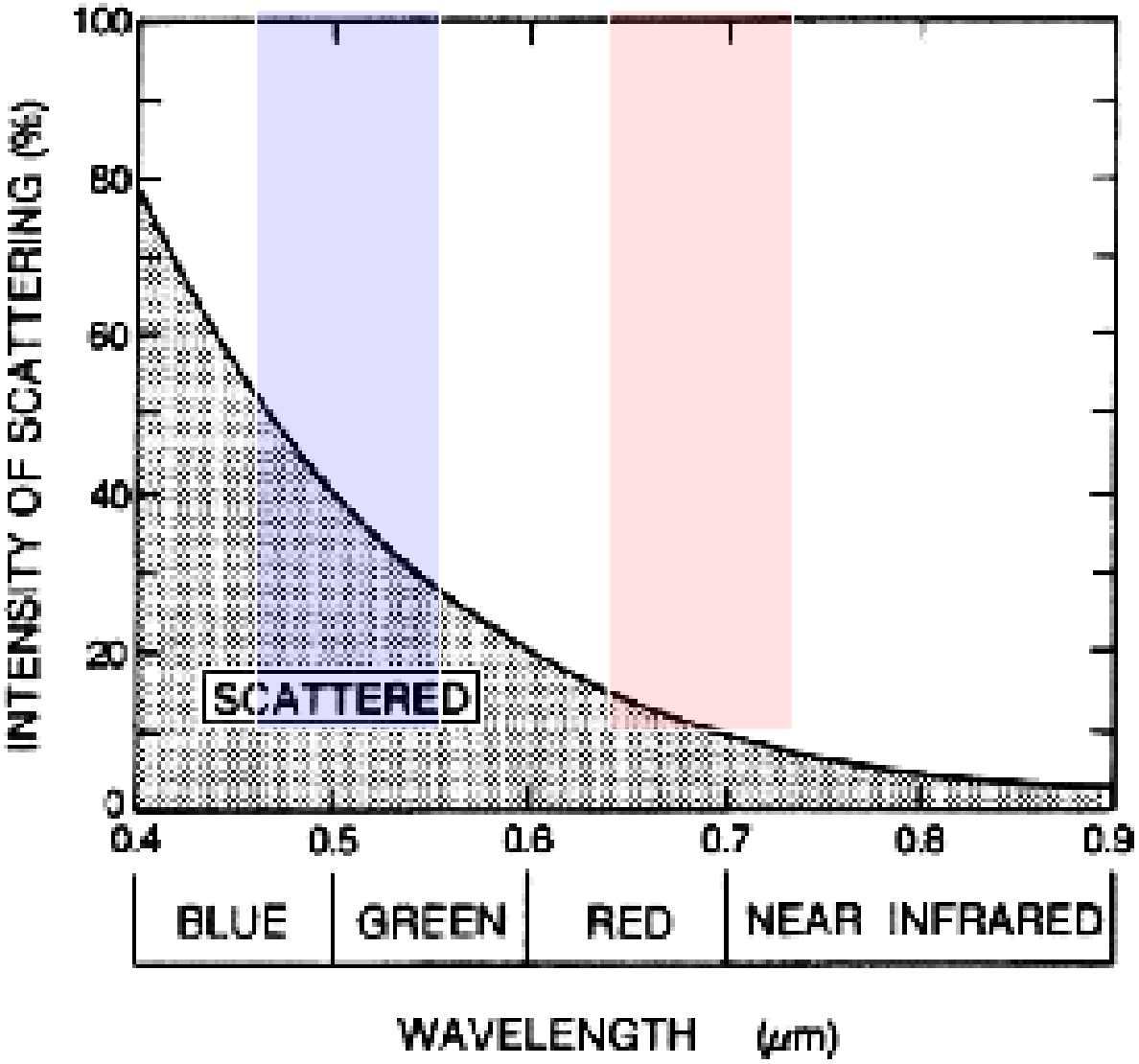
Rayleigh Scatter

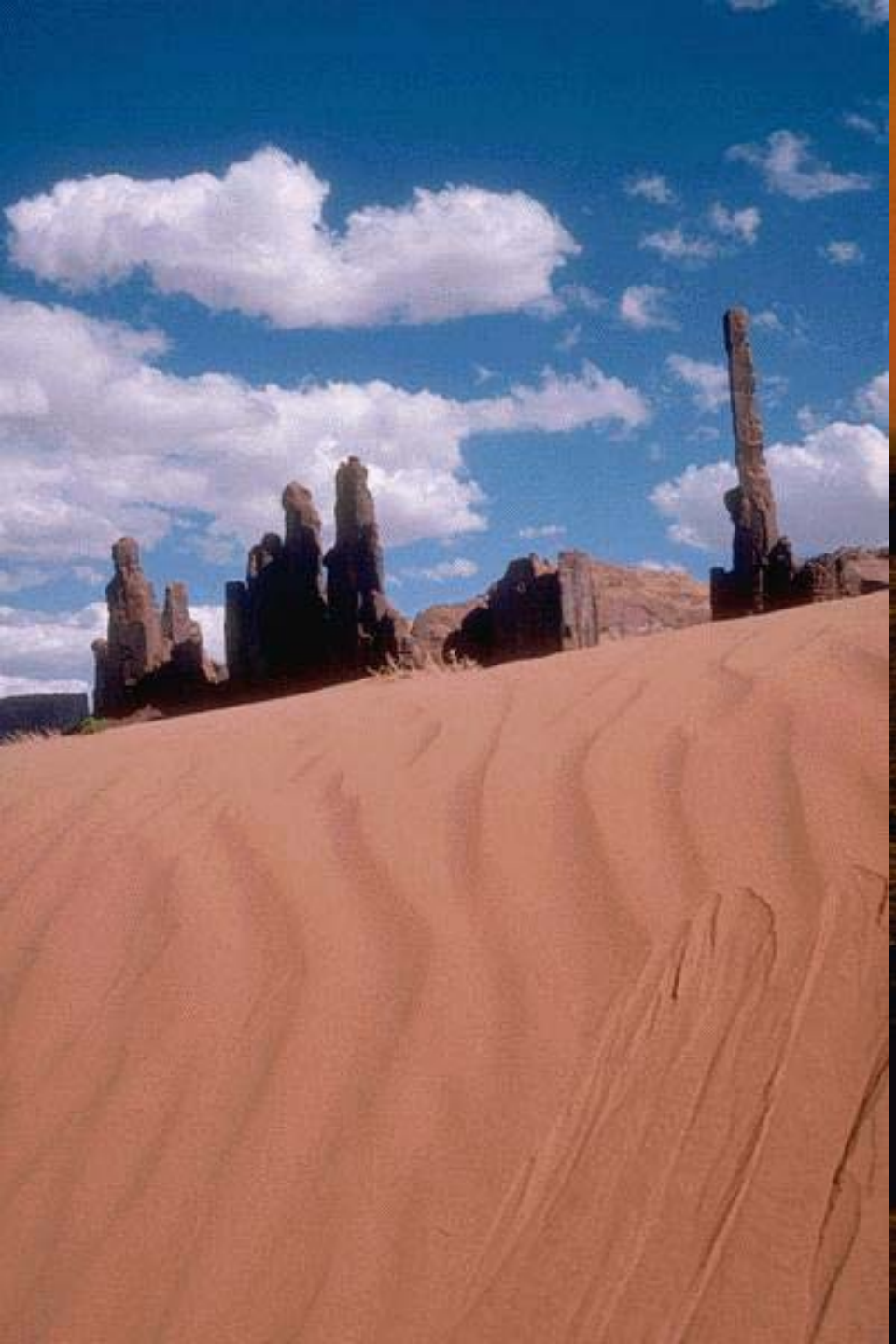
$a < \lambda$

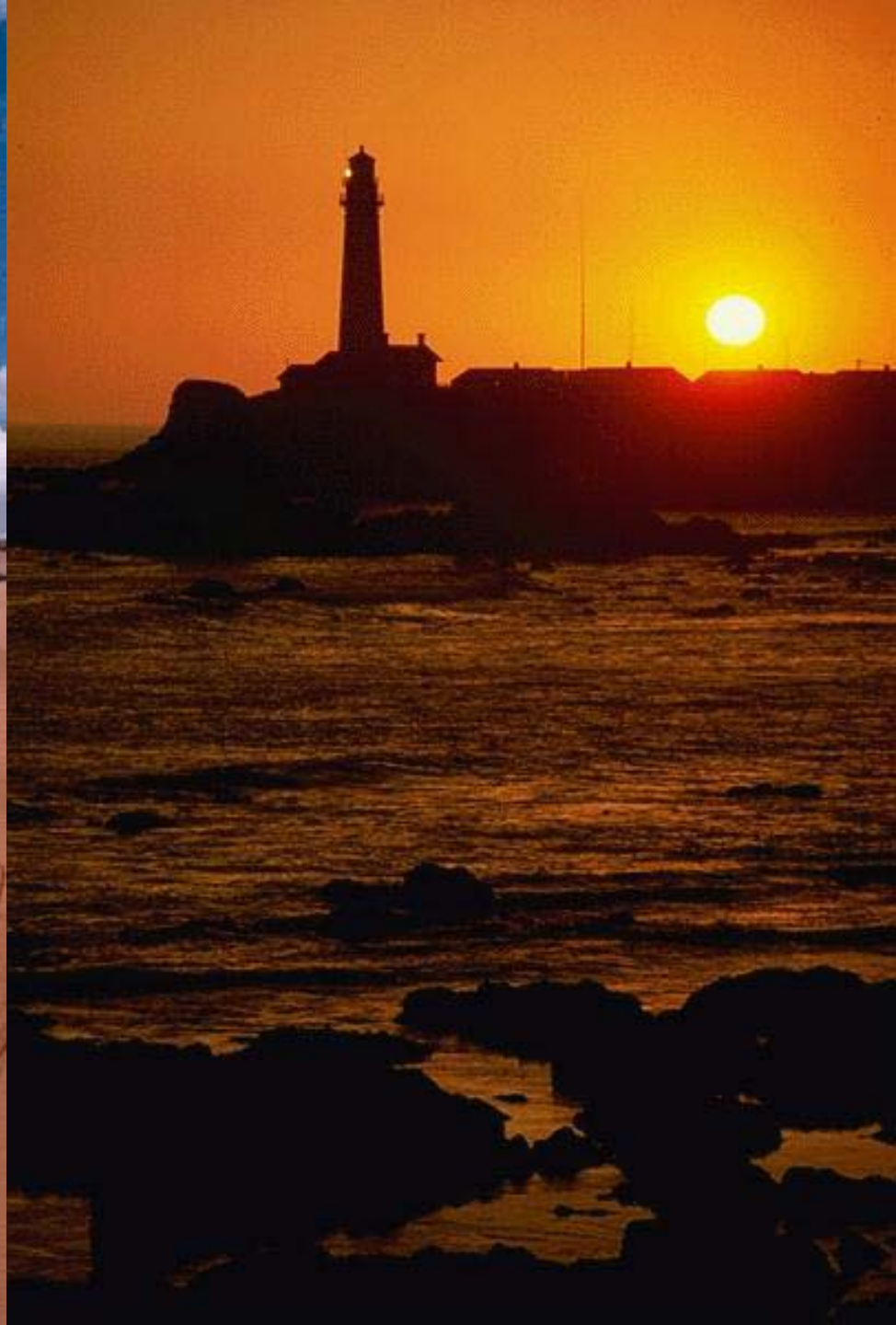
- Rayleigh scatter is common when radiation interacts with atmospheric molecules (gas molecules) and other tiny particles (aerosols) that are much smaller in diameter that the wavelength of the interacting radiation.
- The effect of Rayleigh scatter is inversely proportional to the fourth power of the wavelength. As a result, short wavelengths are more likely to be scattered than long wavelengths.
- Rayleigh scatter is one of the principal causes of haze in imagery. Visually haze diminishes the crispness or contrast of an image.



Relationship between path length of EM radiation and the level of atmospheric scatter


INTENSITY OF SCATTERING (%)
100
80
60
40
20
0
SCATTERED
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
BLUE
GREEN
RED
NEAR INFRARED
WAVELENGTH (μm)





Mie Scatter

$a <=> \lambda$

- Mie scatter exists when the atmospheric particle diameter is essentially equal to the energy wavelengths being sensed.
- Water vapour and dust particles are major causes of Mie scatter. This type of scatter tends to influence longer wavelengths than Rayleigh scatter.
- Although Rayleigh scatter tends to dominate under most atmospheric conditions, Mie scatter is significant in slightly overcast ones.

Non-selective scatter

$a > \lambda$

- Non-selective scatter is more of a problem, and occurs when the diameter of the particles causing scatter are much larger than the wavelengths being sensed.
- Water droplets, that commonly have diameters of between 5 and 100μm, can cause such scatter, and can affect all visible and near - to - mid-IR wavelengths equally.
- Consequently, this scattering is “non-selective” with respect to wavelength. In the visible wavelengths, equal quantities of blue green and red light are scattered.



Non-Selective scatter of EM radiation by a cloud

结论

1. 太阳辐射衰减的原因是什么？
2. 在可见光和近红外波段，大气最主要的散射作用是什么？
3. 无云的晴天，天空为什么呈现蓝色？
4. 朝霞和夕阳为什么都偏橘红色？
5. 微波为什么具有极强的穿透云层的作用？
6. 为什么在选择遥感工作波段时，要考虑大气层的散射和吸收作用？

3、大气窗口

- **大气窗口**：通常把通过大气而较少被反射、吸收或散射的透射率较高的电磁辐射波段称为大气窗口。

  大气窗口是选择遥感工作波段的重要依据。

- **常见的大气窗口**：

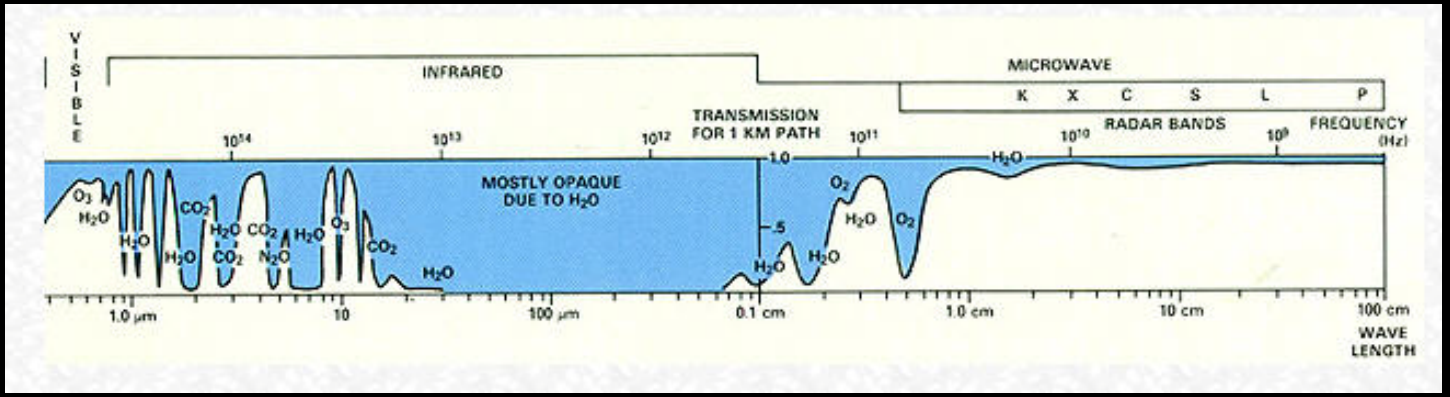
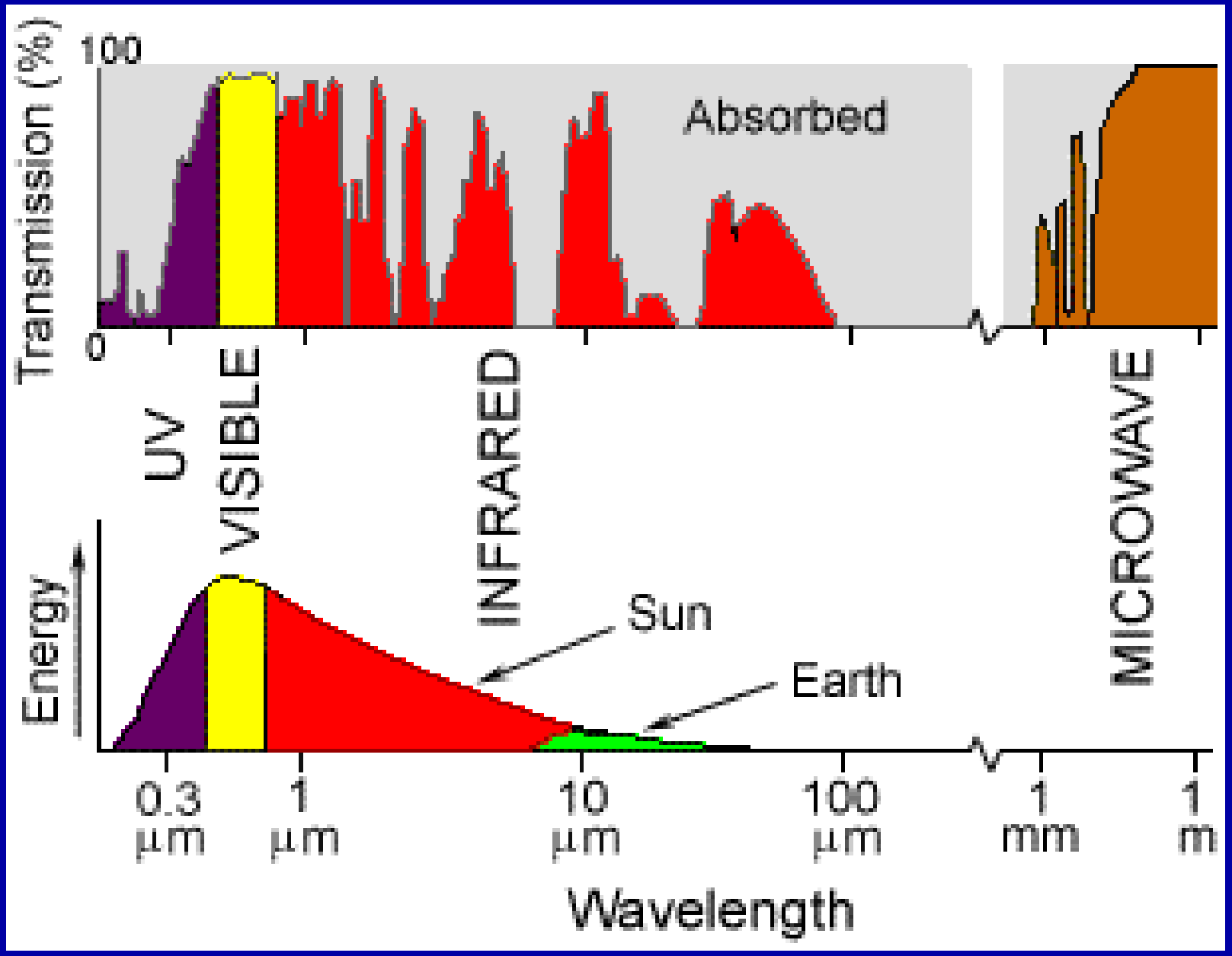


表 1－3－7　大气窗口与遥感光谱通道

电磁波性质	大气窗口	遥感光谱通道	应用条件与成像方式
反射光谱	0.3～1.3μm	紫外波段 0.300～0.315μm 0.315～0.400μm 可见光波段 0.4～0.7μm 近红外波段 0.7～0.9μm 0.9～1.1μm	必须在强光照下，采用摄影方式和扫描方式成像（即只能在白天作业）
	1.5～1.8μm 2.0～3.5μm	近红外 1.55～1.75μm 2.205～2.35μm	强光照下白天扫描成像
反射和发射混合光谱	3.5～5.5μm	中红外 3.5～5.5μm	白天和夜间都能扫描成像
发射光谱	8～14μm	远红外 10～11μm 10.4～12.6μm 8～14μm	白天和夜间都能扫描成像
	0.05～300cm	W0.53～0.30cm V0.53～0.63cm Q0.63～0.83cm Ka0.83～1.13cm K1.13～1.67cm Ku1.67～2.75cm X2.75～5.2cm C5.21～7.69cm S7.69～19.4cm L19.4～76.9cm P76.9～133cm	有光照和无光照下都能扫描成像

Atmospheric Windows

- Some sensors, especially those on meteorological satellites, seek to directly measure absorption phenomena such as those associated with CO^2 and other gaseous molecules.
- Note that the atmosphere is nearly opaque to EM radiation in the mid and far IR
- In the microwave region, by contrast, most of the EM radiation moves through unimpeded - so that radar at commonly used wavelengths will nearly all reach the Earth surface unimpeded - although specific wavelengths are scattered by raindrops.


Transmission (%)
100
0
Absorbed
UV
VISIBLE
INFRARED
MICROWAVE
Energy
Sun
Earth
0.3 µm
1 µm
10 µm
100 µm
1 mm
1 m
Wavelength

五、环境对地物光谱特性的影响

地物发射或反射光谱特性，受到一系列环境因素的影响。

1. 与地物的物理性状有关

   如地物表面的颜色、粗糙度、风化状况及含水分情况等。

2. 与光源的辐射强度：纬度与海拔高度

3. 与季节有关：太阳高度角不相同

4. 与探测时间有关：时间不同，反射率不同。一般地说，中午测得反射率大于上午或下午测得的反射率。

5. 与气象条件有关：一般来说，晴天测得的反射率大于阴天测得的反射率。