

# 7-02 群速度， 散射

# 相速度与群速度

相速:

$$E = E_0 e^{-i(\omega t - kx)}$$



$$\omega t - kx = 0$$

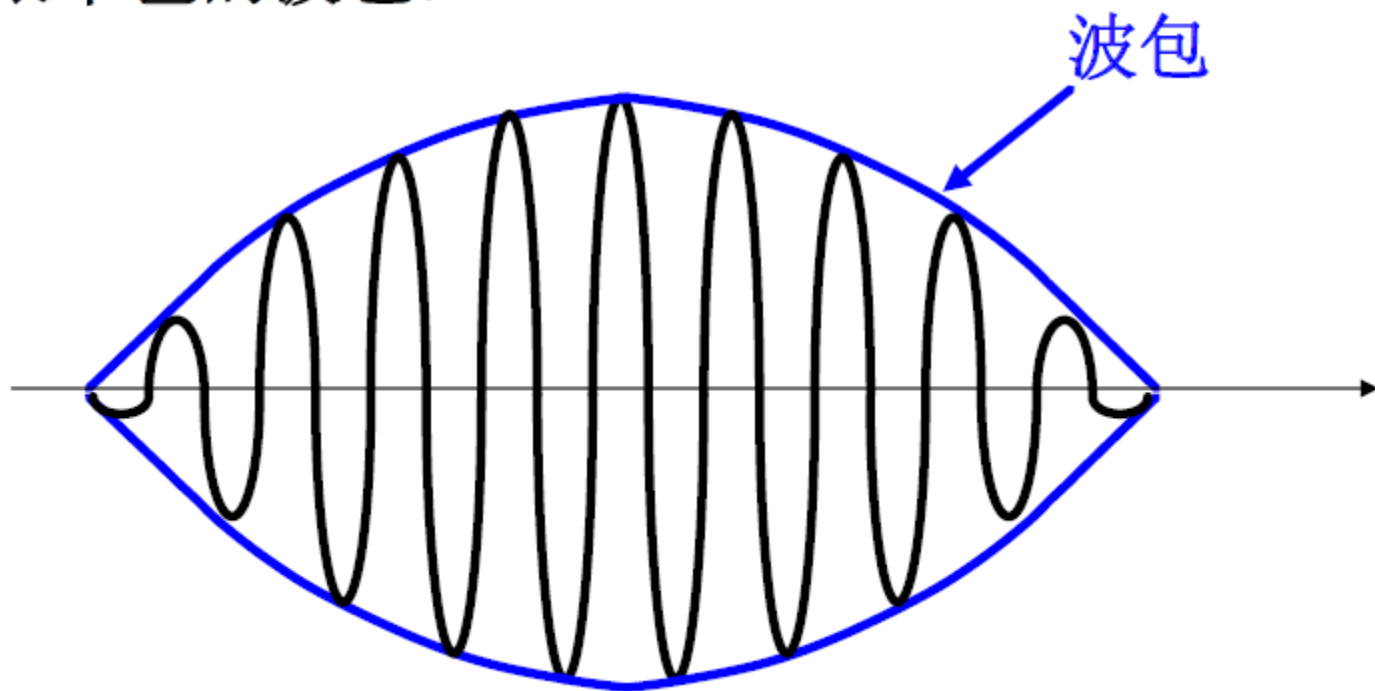
$$v_P = \frac{x}{t} = \frac{\omega}{k}$$

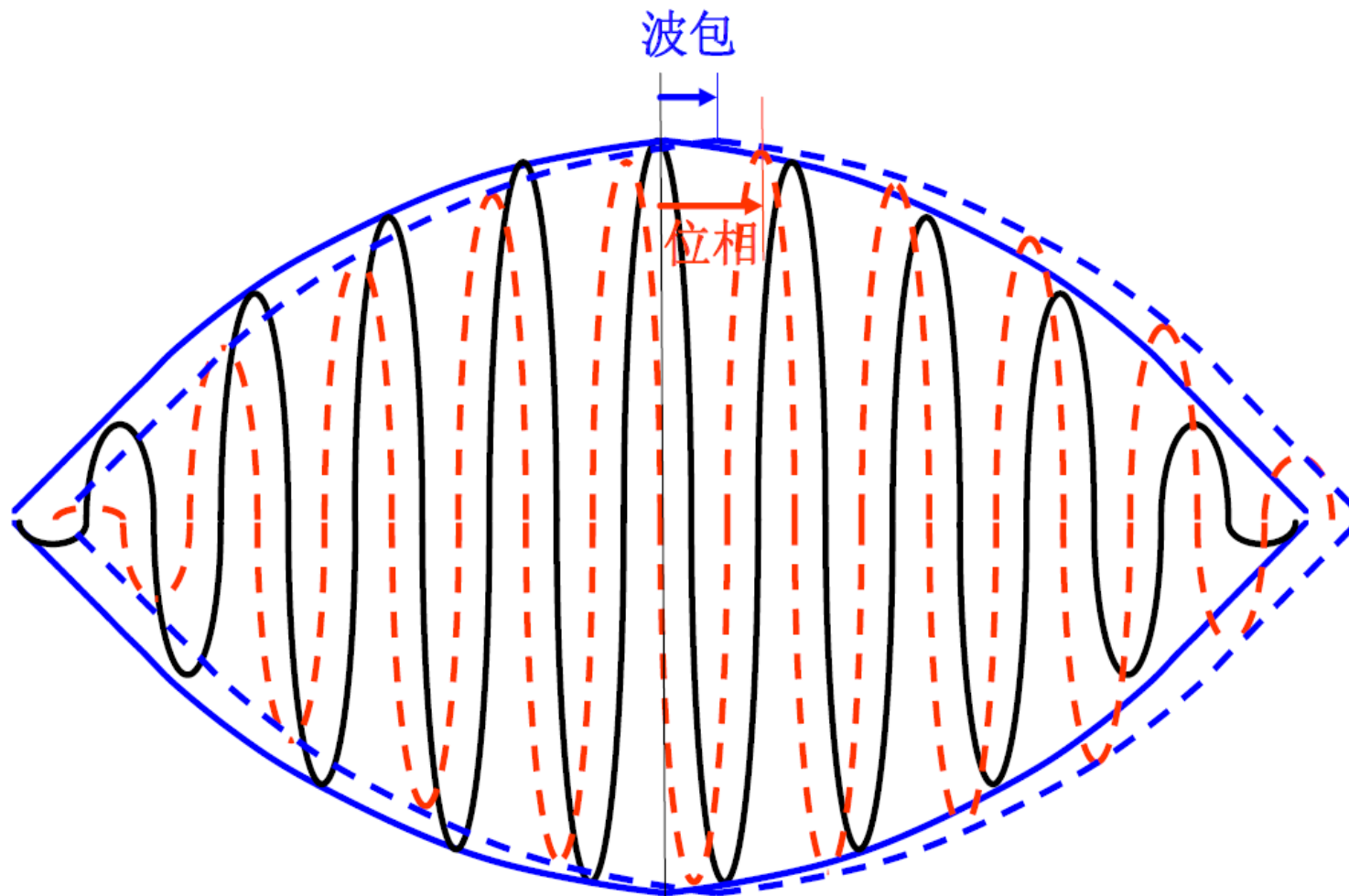
等位相点的推进速度

很长时间，媒质中的光速测量与折射率推算的不一致。

$$n = \frac{c}{v}$$

非无限单色的波包：





展开:  $\omega \approx \omega(k_0) + \left. \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \right|_{k=k_0} \Delta k, \quad \omega_0 = \omega(k_0)$

$$\tilde{U}(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{k_0 - \Delta k}^{k_0 + \Delta k} A(k) e^{-i(\omega t - kx)} dk$$

$$A(k) \simeq A(k_0)$$

$$\omega \simeq \omega(k_0) + \left. \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \right|_{k=k_0} (k - k_0) = \omega(k_0) + \left. \left( \frac{d\omega}{dk} \right) \right|_{k=k_0} k'$$

$$e^{-i(\omega t - kx)} = e^{-i(\omega_0 t - k_0 x)} e^{-i \left( \frac{d\omega}{dk} t - x \right) k'}$$

$$\tilde{U}(x, t) = A(k_0) e^{-i(\omega_0 t - k_0 x)} \frac{1}{2\pi} \int_{-\Delta k}^{+\Delta k} e^{-i \left( \frac{d\omega}{dk} t - x \right) k'} dk'$$

$$= \frac{A(k_0)}{2\pi} \frac{\sin \left[ \left( \frac{d\omega}{dk} t - x \right) \Delta k \right]}{\frac{d\omega}{dk} t - x} e^{-i(\omega_0 t - k_0 x)}$$

包络因子

高频波

群速（包络推进速度）： 能量、信息传递的速度 \*

$$v_g = \frac{d\omega}{dk}$$

(\*在吸收较小情况下)

$$v_g = v_p \left(1 + \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda}\right)$$

$$\omega = kv_p, v_p = c/n$$

$$v_g = v_p + k \frac{dv_p}{dk}$$

(1) 正常色散  $\frac{dn}{d\lambda} < 0, \quad v_g < v_p$

(2) 反常色散  $\frac{dn}{d\lambda} > 0, \quad v_g > v_p$

(3) 无色散  $\frac{dn}{d\lambda} = 0, \quad v_g = v_p$

**作业：P249，2，**



# 散射

合肥网第e时间:合肥雾霾排上全国第一

news.wehefei.com 发布时间: 2015-12-11 16:05:21 来源: 中安在线

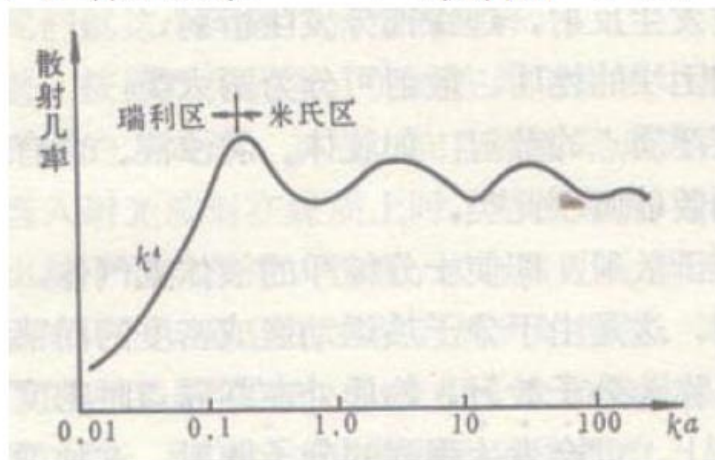
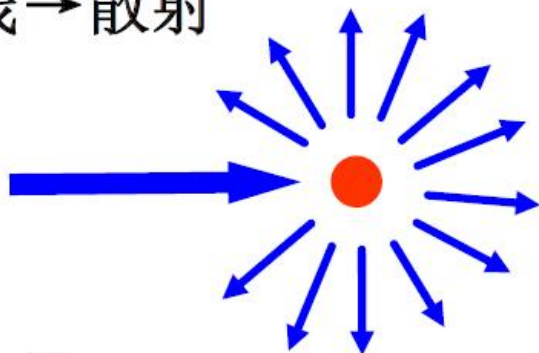


# 散射

1. 散射与媒质不均匀性的关系
2. 瑞利 ( Rayleigh ) 散射
3. 米 ( Mie ) 散射
4. 喇曼 ( Raman ) 散射

# 1. 散射与媒质不均匀性的关系

光线通过媒质，一些侧面看不到光线，一些侧面可以看到光线→散射



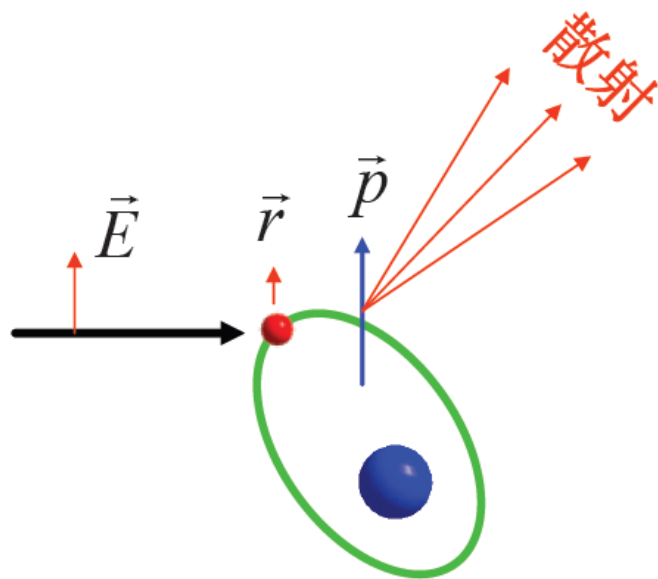
散射的分类:

- 1 均匀介质（不均匀尺度远大于波长）→无散射
- 2 不均匀尺度在波长量级（胶体、乳浊液、烟雾、灰尘）→米-德拜（Mie-Debye）散射。临界点上的媒质，分子密度涨落极大，出现临界乳光。
- 3 不均匀尺度远小于波长→瑞利散射

所谓均匀、不均匀都是对波长尺度而言的。

## 2. 瑞利 ( Rayleigh ) 散射(粒子尺度远小于波长)

偶极子在光场中的受迫振动  
振动的电偶极子辐射同频电磁波



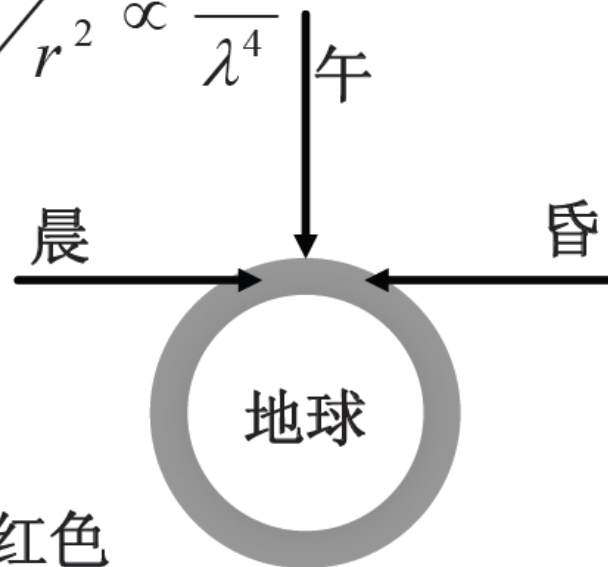
$$E \propto \omega^2 \frac{p}{r}$$

$$I \propto \omega^4 \frac{p^2}{r^2} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

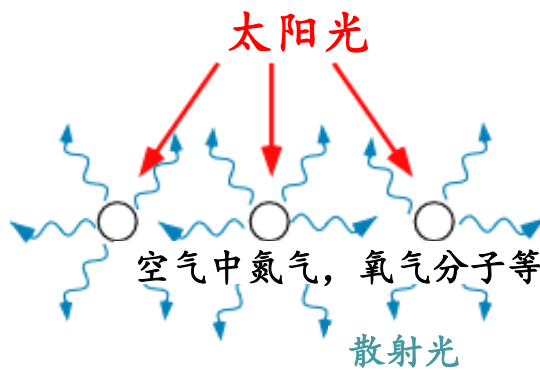
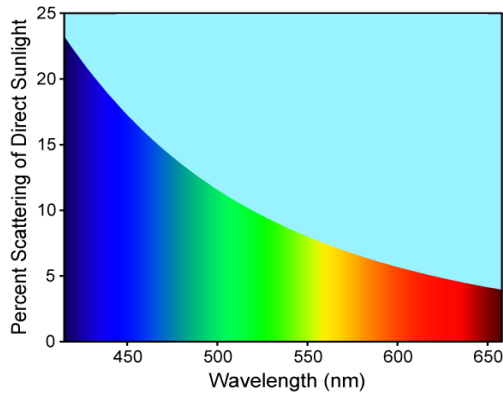
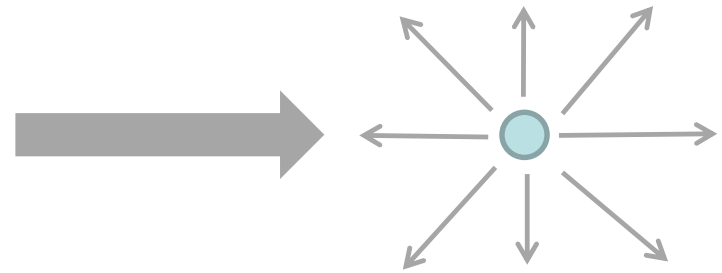
$$\tilde{U}(p) = \iiint \tilde{A}_s(Q, p) e^{ikr_{Q,p}} dv$$

天空蓝色

早晚太阳红色

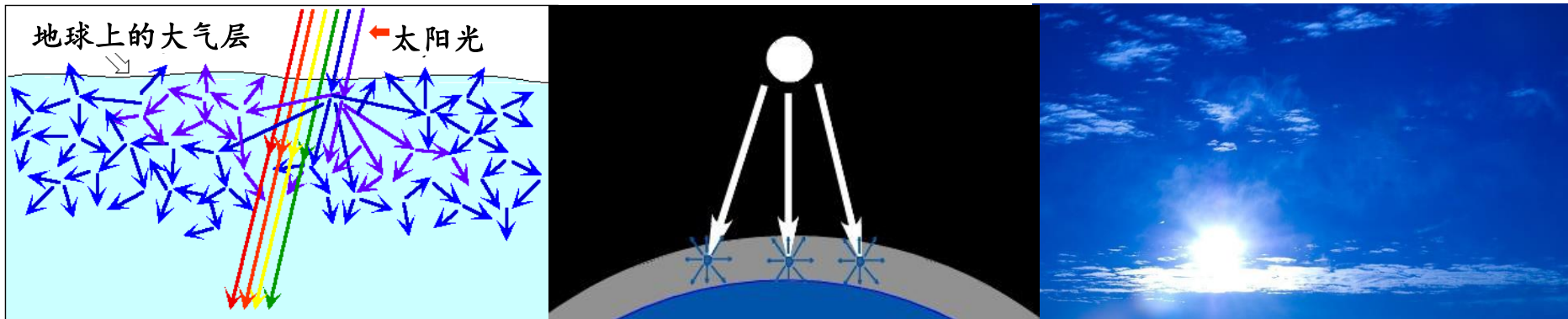


- 瑞利散射: 波长越小散射越强烈。
- 蓝色波长短, 散射更厉害;



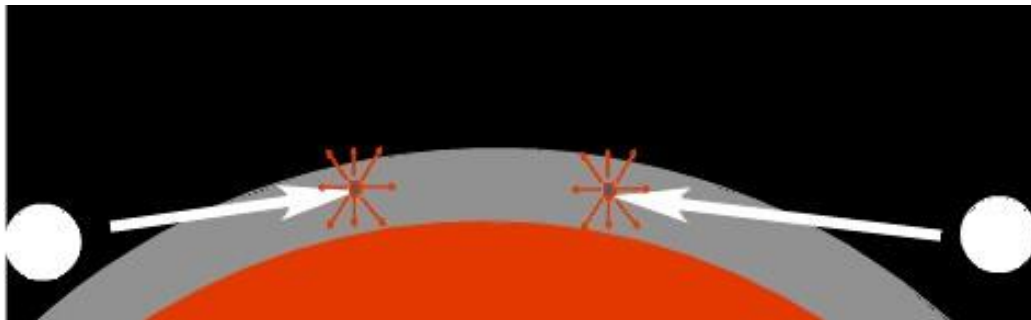
## 白天天蓝

- 空气中分子等强烈散射蓝光。
- 白天时，阳光经过比较薄的大气层，散射呈现蓝色的天空。

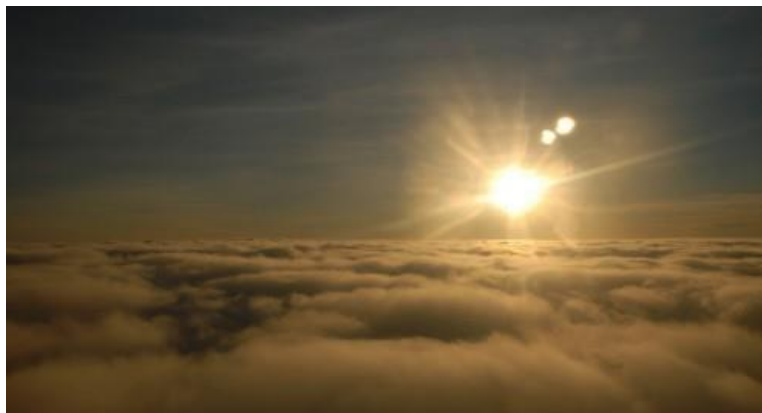


## 日出、日落天红

- 日出，日落时阳光经过比较厚的大气层，蓝光散射殆尽，天色呈现橘红色。



- 没有大气，没有散射，天色呈现黑色。
- 夜空黑色，蓝色散射弱。





# 太阳的色彩

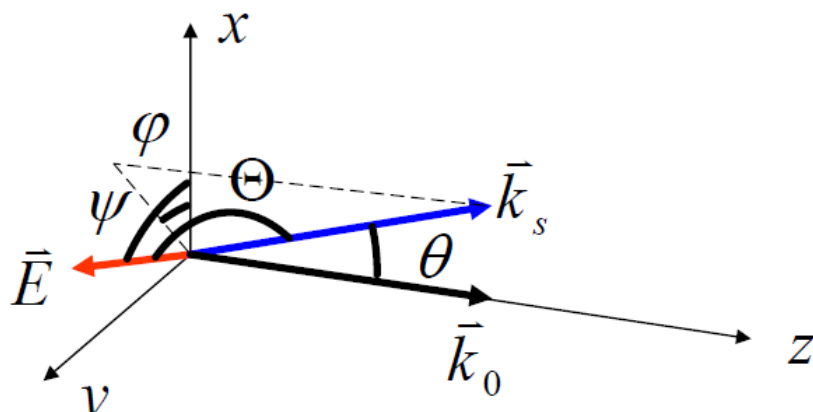
- 白天时，阳光经过比较薄的大气层，蓝色散射较少，呈现白色太阳。
- 日出，日落时，阳光经过比较厚的大气层，蓝色散射较多，呈现橙色太阳。





## 散射的角度分布和偏振态

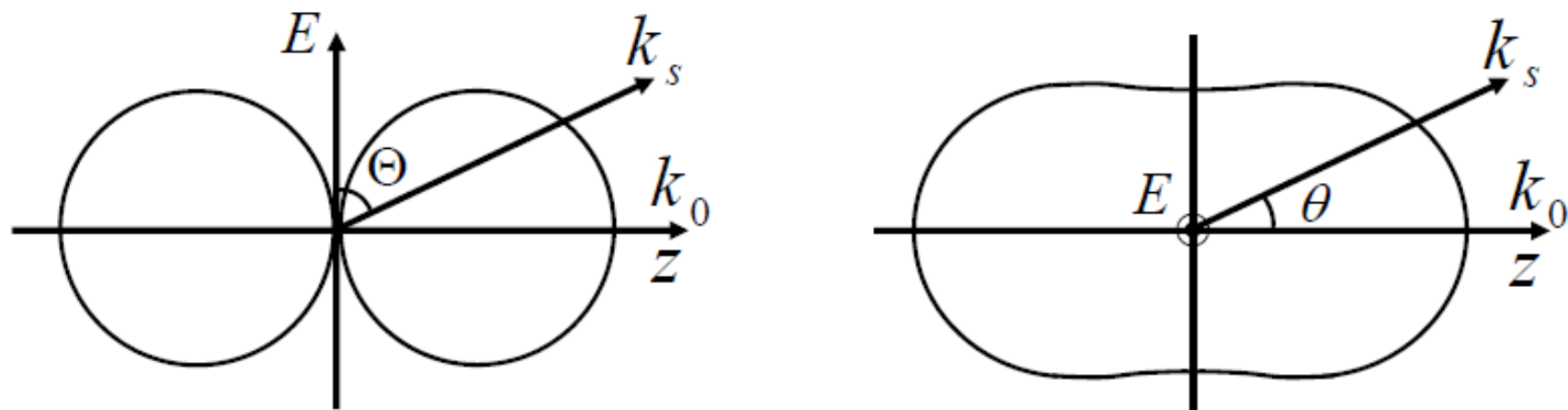
电磁波的横波性，散射是偏振的，而且光强有一定的角度分布。



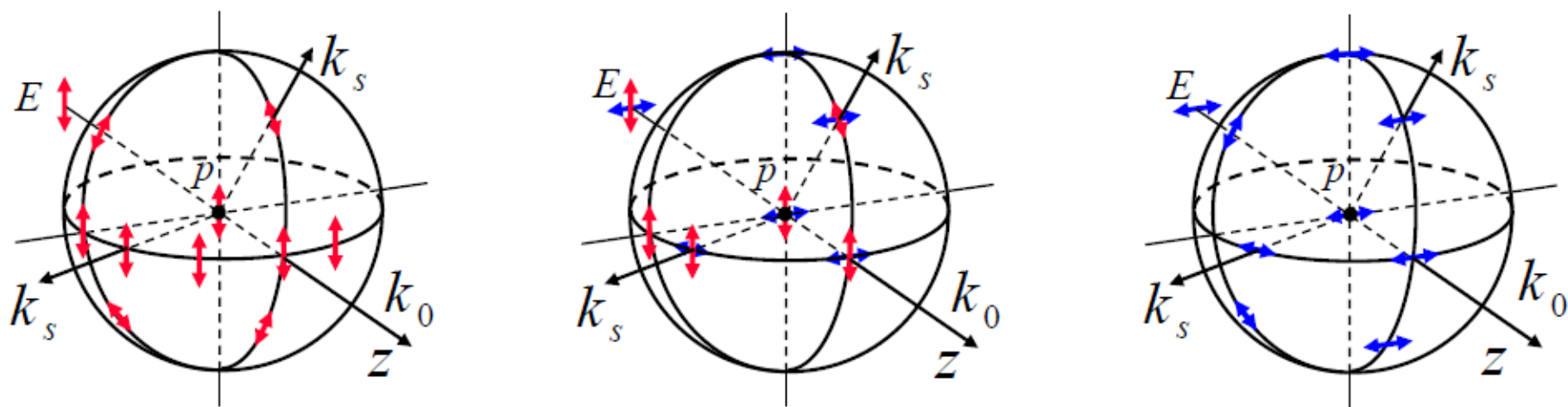
$$I_s \propto \sin^2 \Theta = 1 - \sin^2 \theta \cos^2(\psi - \varphi)$$

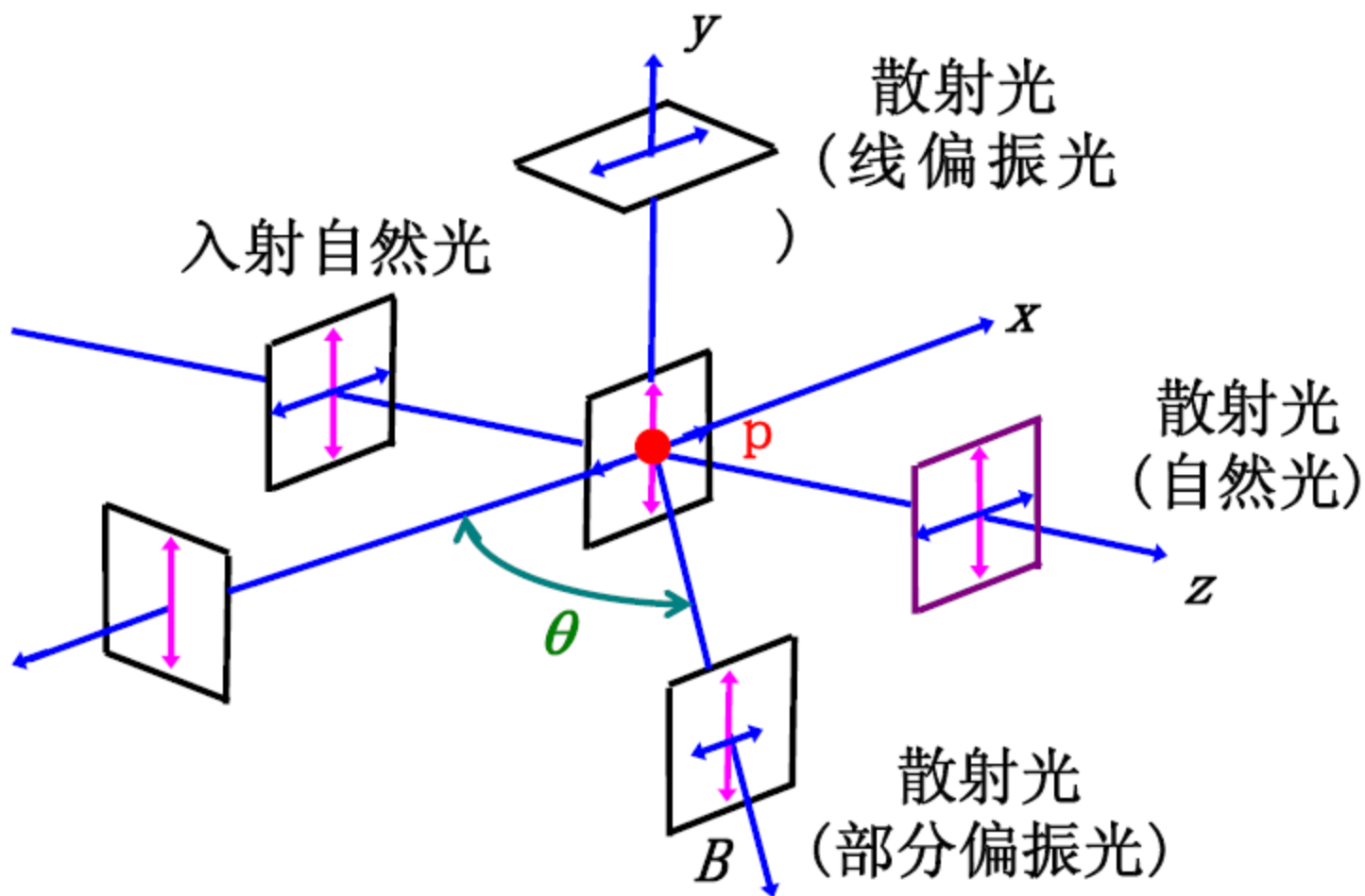
$$\begin{aligned} I_s \propto \overline{\sin^2 \Theta} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [1 - \sin^2 \theta \cos^2(\psi - \varphi)] d\psi \\ &= \frac{1}{2} (1 + \cos^2 \theta) \end{aligned}$$

光强分布：

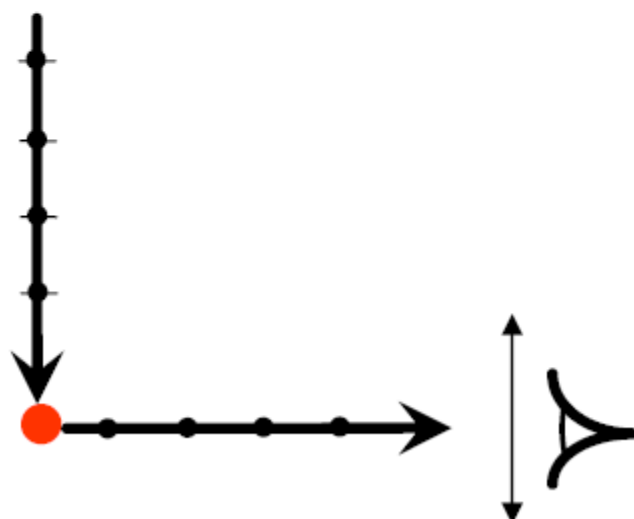


偏振分布：





偏振特点：垂直方向→线偏振→偏振墨镜  
入射方向→自然光  
其它方向→部分偏振光



# 3. 米 (Mie) 散射 (粒子尺度大于或与波长相当)

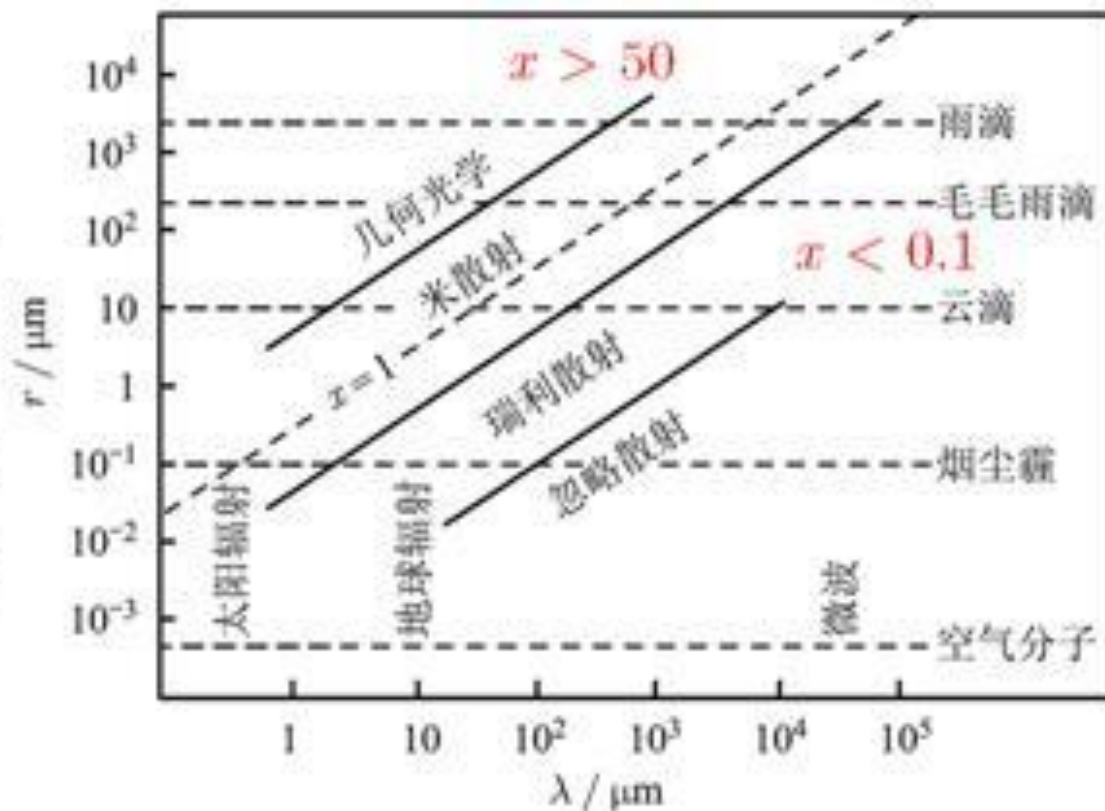
(古斯塔夫·米 Gustav Mie)

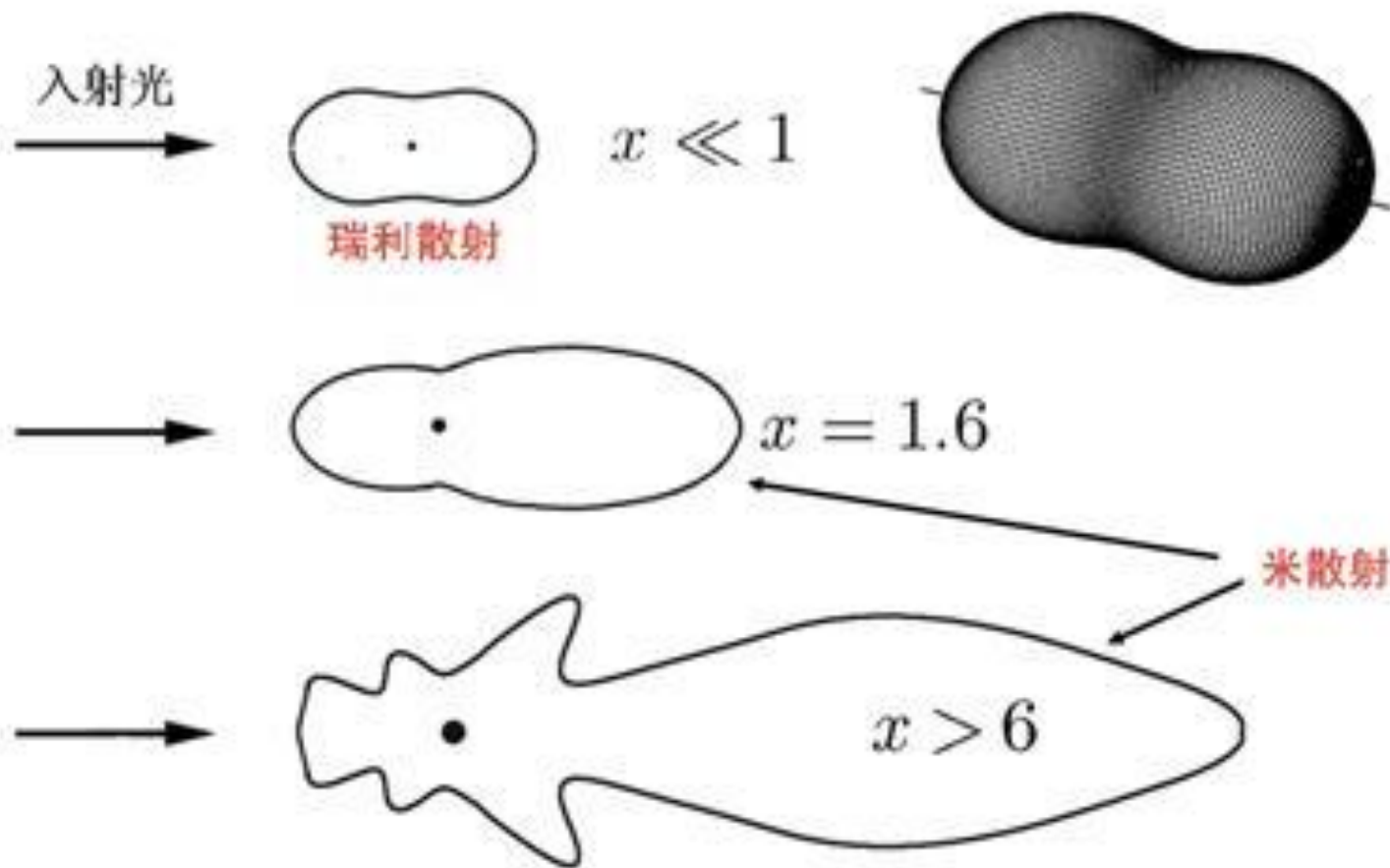
尺度数

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda}$$

$r$ : 粒子半径

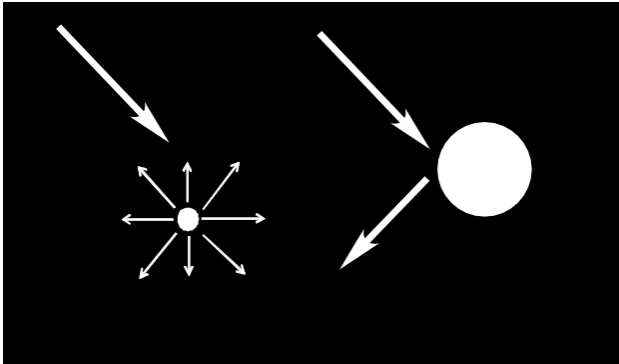
$\lambda$ : 辐射波长



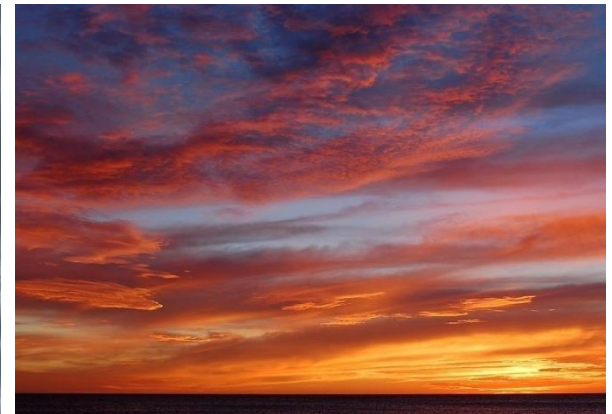


## 云白---散射所有太阳光。

- 空气中小云滴散射各种光，方向为四面八方。
- 空气中大云滴或水滴反射白色太阳光。



- 白云 --- 云层薄；
- 乌云 --- 云层厚；
- 彩云 --- 日落日出时。



# 霾

- 干燥空气中灰尘，盐粒，水滴等悬浮粒子散射可见光。
- 颗粒大小与可见光波长相当。
- 散射黄色，红色光；使得天空不是蓝色。





# 4. 喇曼 ( Raman ) 散射 (分子指纹)

1930年诺贝尔物理学奖拉曼 ( Raman) ,  
以表彰他研究了光的散射和发现了以他的名字命名的定律。

现象： 散射光中有不同频成分

斯托克斯 (Stocks) 线 (红伴线) :  $\omega_0 - \omega_j$

反斯托克斯 (Anti-Stocks) 线 (紫伴线) :  $\omega_0 + \omega_j$

经典理论： 分子极化率随时间固有振动

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_j \cos \omega_j t$$

受迫振动：

$$\tilde{p} = \alpha \varepsilon_0 E$$

$$= \alpha_0 \varepsilon_0 E_0 \cos \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha_j \varepsilon_0 E_0 \cos(\omega_0 - \omega_j)t$$

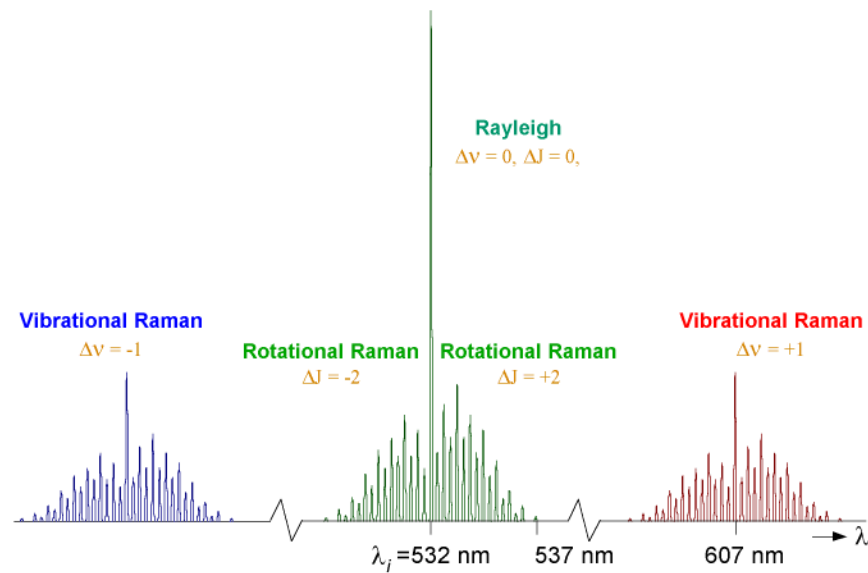
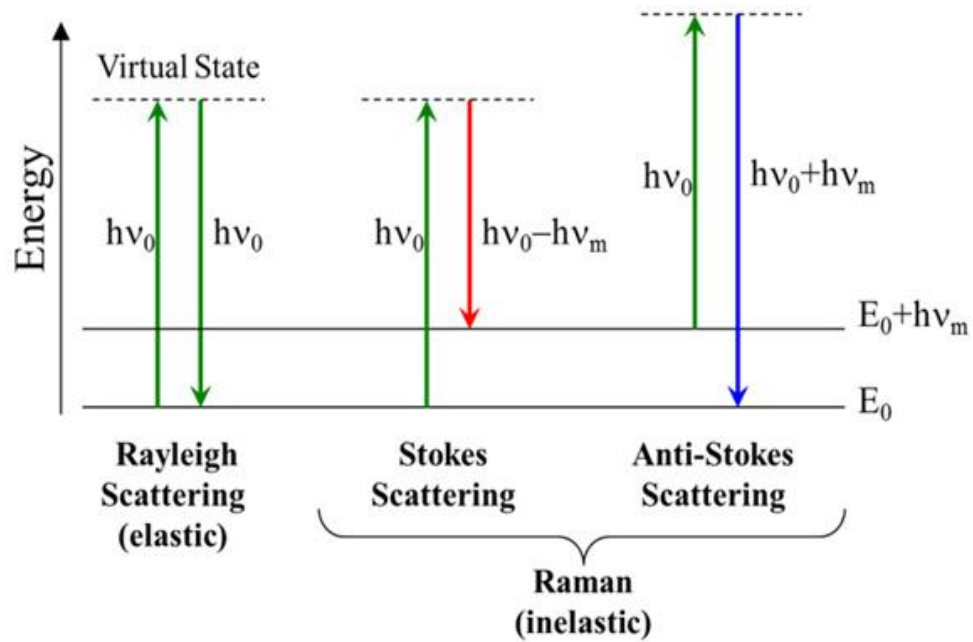
$$+ \frac{1}{2} \alpha_j \varepsilon_0 E_0 \cos(\omega_0 + \omega_j)t \rightarrow \text{紫伴线}$$

红伴线



紫伴线

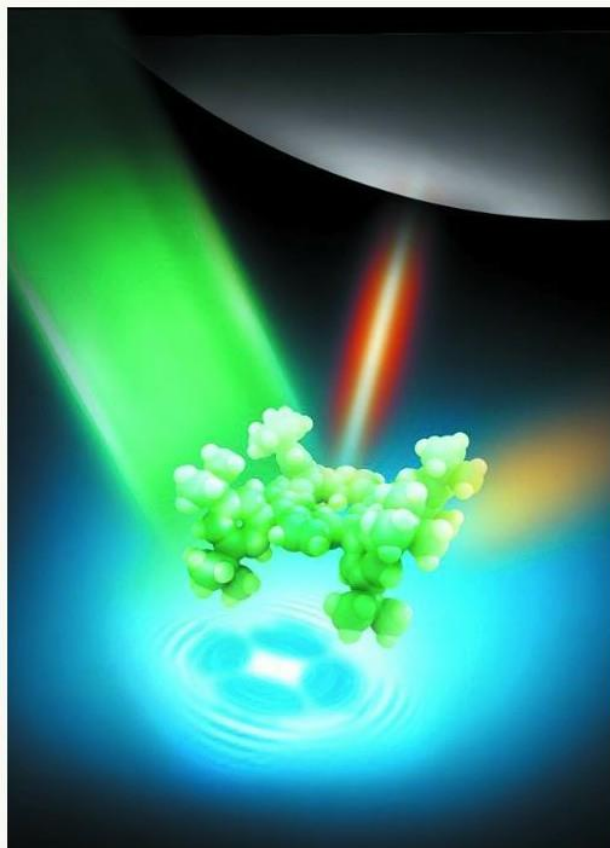
量子理论： 可解释强度



<http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2013/6/278716.shtm>

光学光谱探测挺进分子内部

侯建国院士领衔实现最高分辨率单分子拉曼成像



**作业：P257，1，**