



计算机图形学

光照和明暗处理

陈中贵
厦门大学

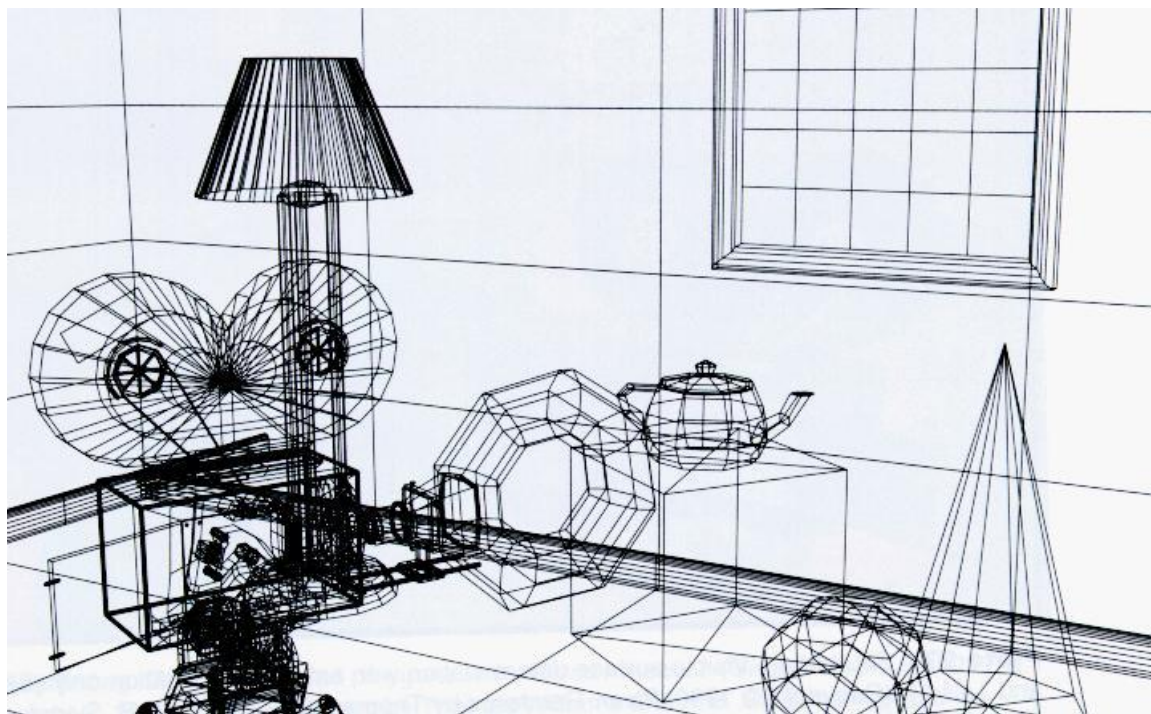
Graphics@XMU <http://graphics.xmu.edu.cn/>

第一节 基本概念

- 光源类型
 - 点光源
 - 聚光灯
 - 远距离光源
 - 环境光
- 表面类型
 - 镜面
 - 漫反射面
 - 透明面

多边形网格模型

- 在计算机图形学中的模型通常是由多边形网格构成的
- 下图以线框形式显示一个场景



隐藏面消除

- 使多边形网格显得真实的第一种方法是隐藏面消除
- 下图显示的是前一页场景经隐藏面消除后的结果，但结果仍显得平面



模拟光照

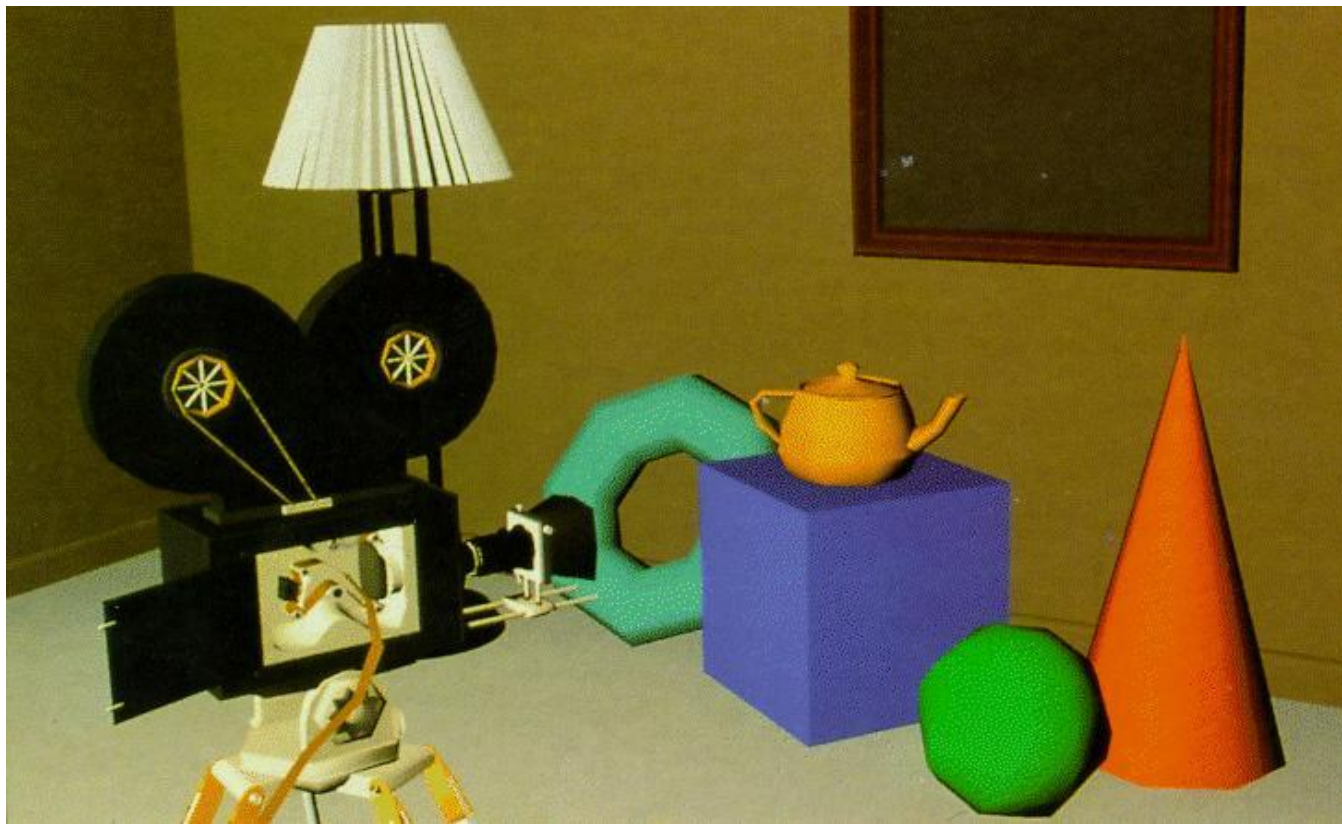
- 在隐藏面消除后，为了使对象看起来更真实，应当模拟光照在物体的状态，即应当通过计算确定表示对象的像素的适当状态
- 在这种计算中应充分根据对象表面的状态，光源的位置以及视点的位置
- 需要计算每帧图像中各个像素的颜色亮度，而不是由用户直接指定

示例



经过了简单光照处理和隐藏面消除 (Faceted Shading)

光滑明暗处理



Gouraud Diffuse

镜面光

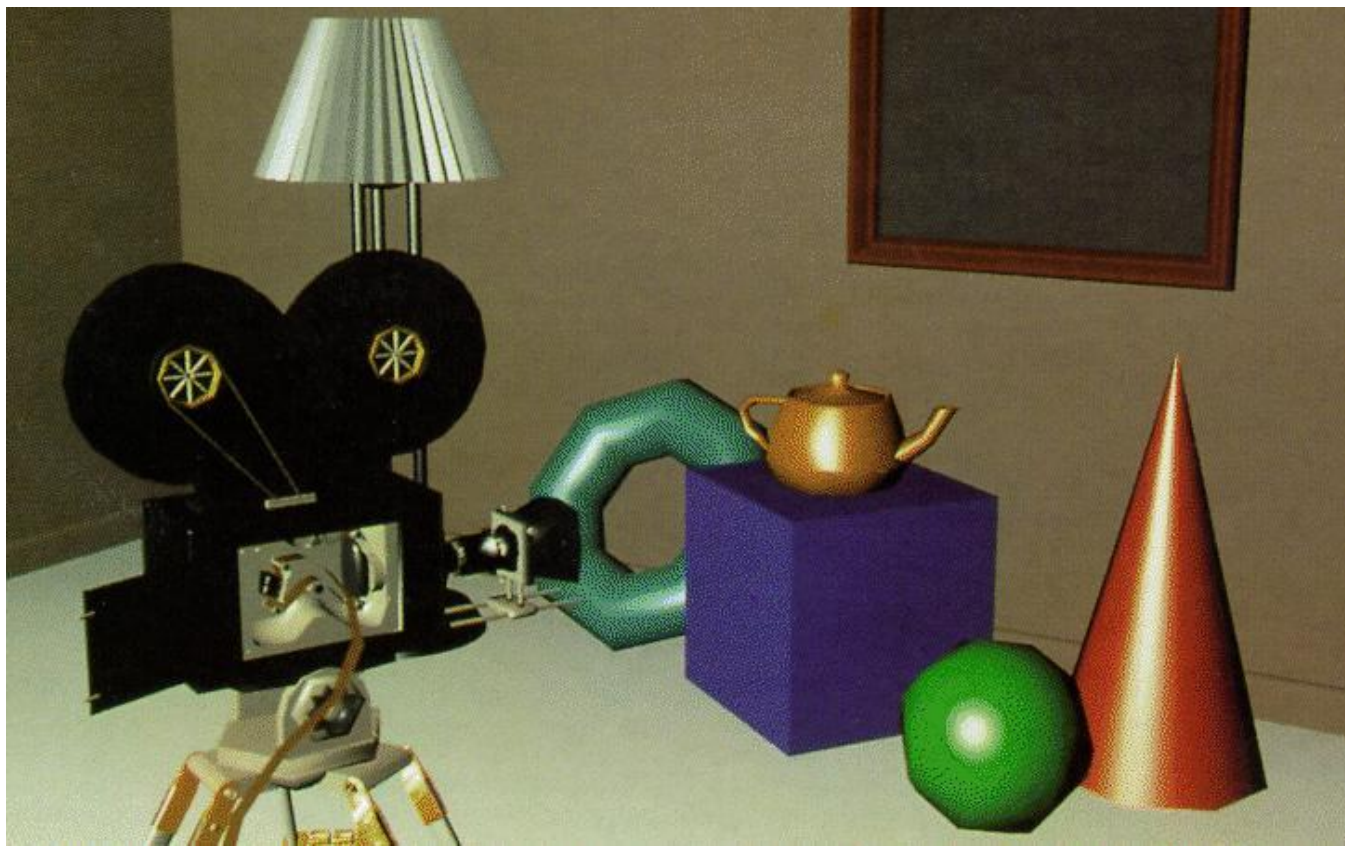
- 为了得到更真实的效果，可以加入镜面光的效果



Gouraud Diffuse and Specular Shading

更好的渲染效果

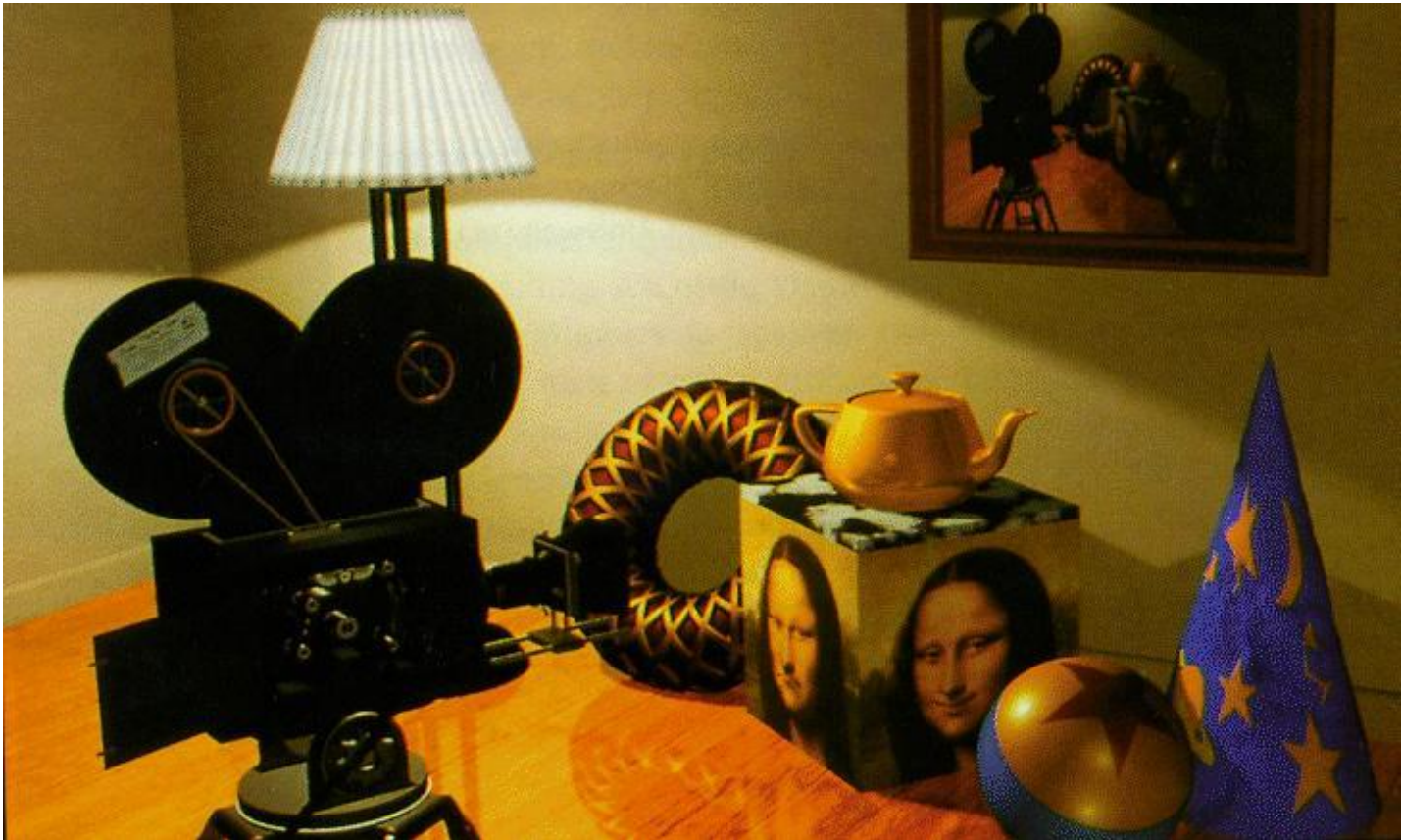
- 为了得到更真实的效果，可以加入镜面光的效果



Phong Diffuse and Specular Shading

阴影+纹理映射

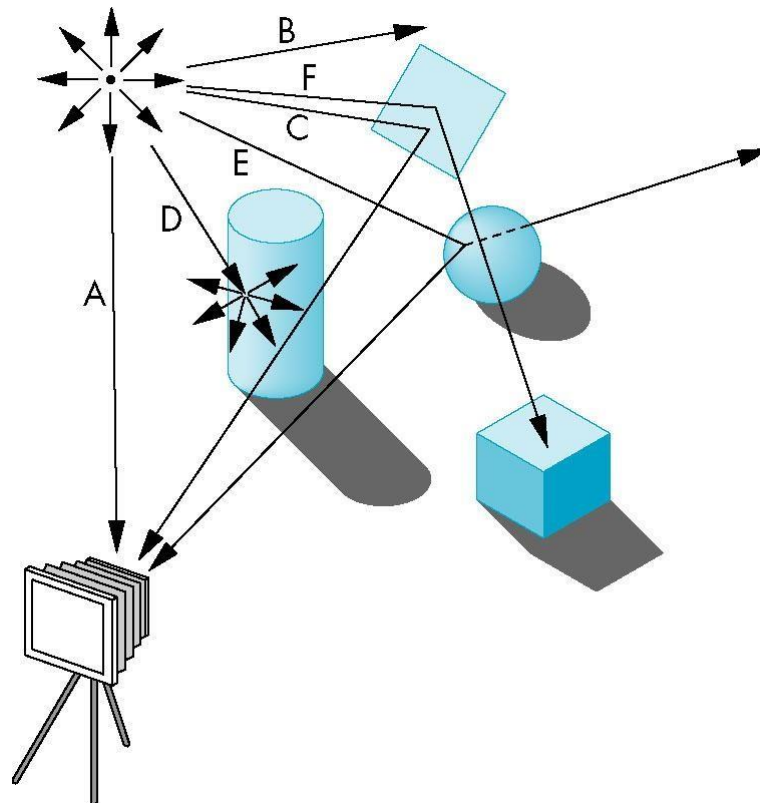
- 在加入阴影及对象表面纹理以后，会使图像的真实感增强一大步



Raytraced with Texture Mapping

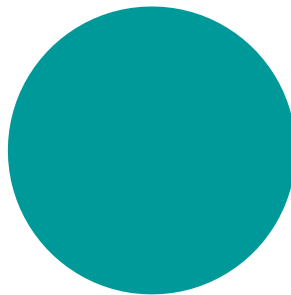
其它增加真实感的方法

- 光线跟踪
 - 计算复杂
 - 容易实现，生成的图形中正确地反映阴影、镜面反射以及透明的效果
- 辐射度方法
 - 基于能量守恒

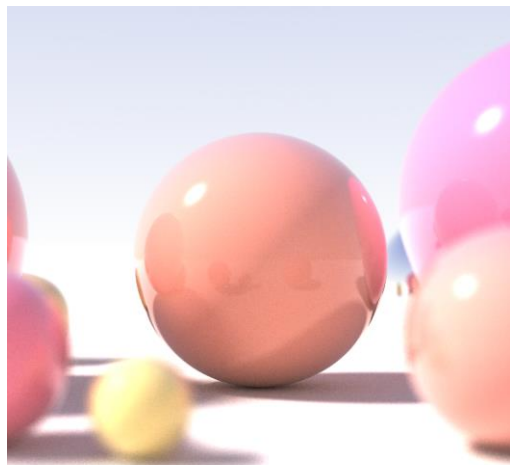


为什么需要明暗处理

- 假设用多边形网格建立了球面的模型，其颜色采用glColor定义，那么得到的结果为

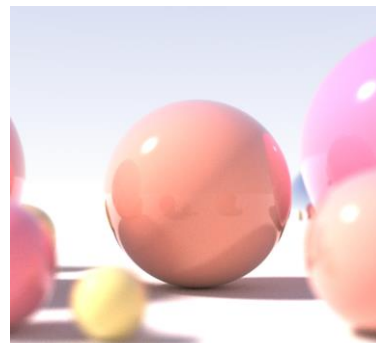


- 而我们希望为



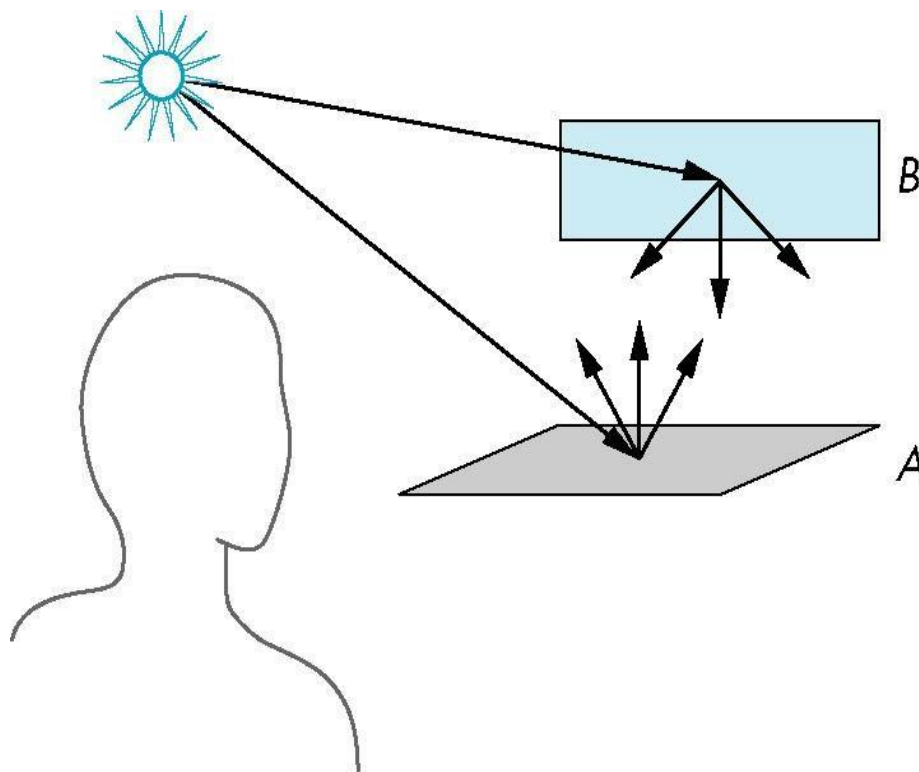
明暗处理

- 为何实际中球的图像类似于→
- 光与材料的交互作用导致每点有不同的颜色或者明暗效果
- 这时需要考虑
 - 光源
 - 材料属性
 - 观察者位置
 - 曲面定向



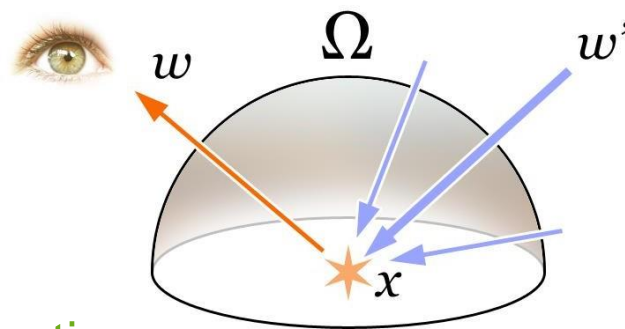
散射

- 光照射到A
 - 有些被反射
 - 有些被吸收
- 反射光中有些射到B
 - 有些被反射
 - 有些被吸收
- 反射光中又有些射到
- A,



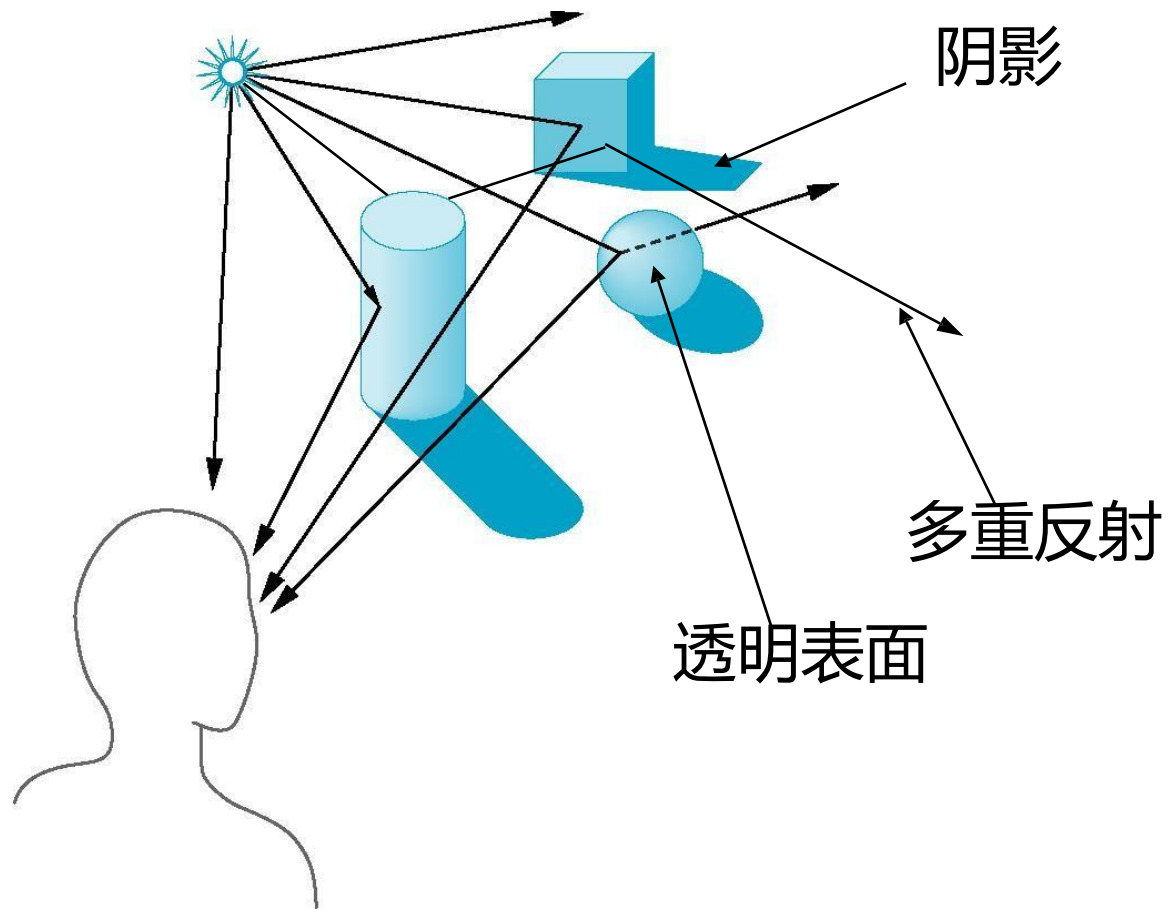
渲染方程

- 光的无穷次反射和吸收过程可以用渲染方程(rendering equation)描述
 - 一般是无法求解的，即使应用数值方法也是非常复杂的
 - 光线跟踪适用于完全反射曲面这一特殊情形
- 渲染方程是全局的，并且包含
 - 阴影
 - 对象间的多次反射



http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_equation

全局效果



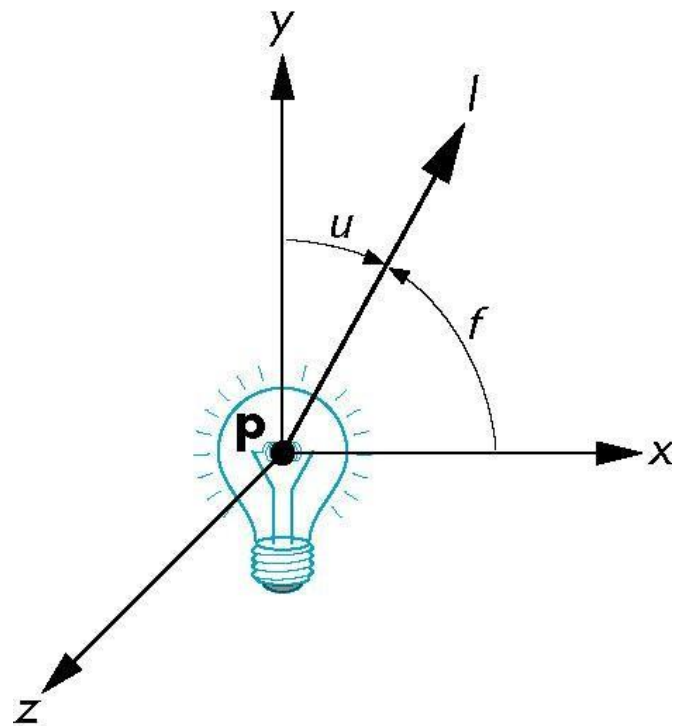
局部与全局光照

- 正确的明暗处理需要全局计算，即包含了所有的对象和光源
 - 这与流水线模型不兼容，在这个体系中对每个多边形单独进行明暗处理（局部光照）
- 然而在计算机图形学中，特别是在实时图形应用中，如果所得结果看起来可以的话，这种局部计算是可以接受的
 - 存在许多方法逼近全局效果

光源的描述

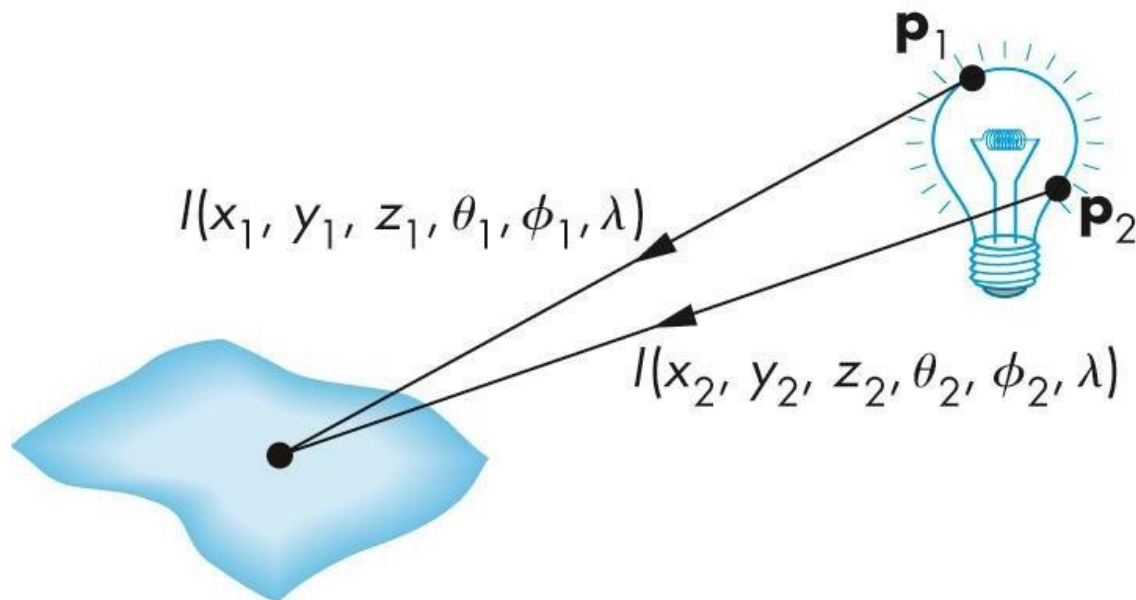
- 光线从光源表面离开的方式有两种
 - 自发射
 - 反射
- 在表面上任一点 (x,y,z) 所发出的光可以用发射方向 (θ, ϕ) 和波长 λ 的光强度来描述
- 光源模型：照明函数

$$I(x,y,z,\theta,\phi,\lambda)$$



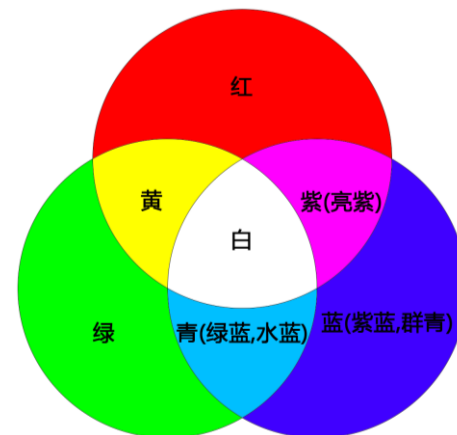
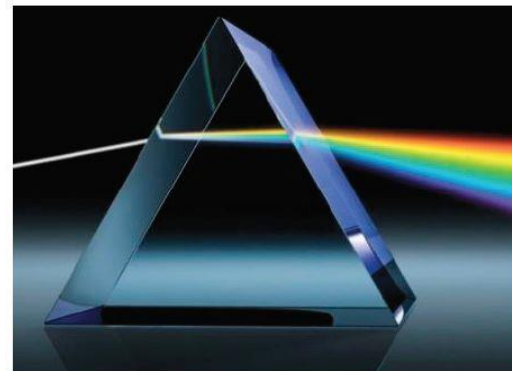
光源

- 一般的光源是很难处理的，因为我们需要对于在光源表面上的所有点进行光强积分



光源的颜色

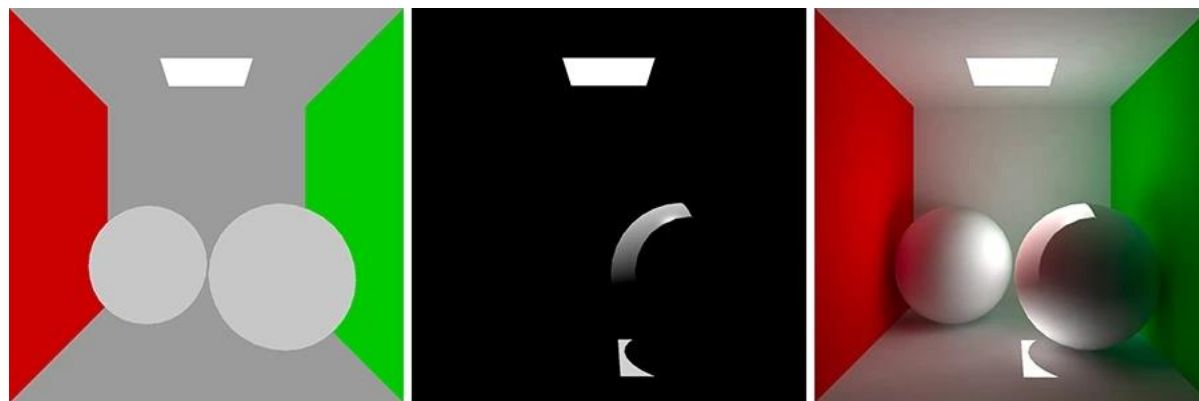
- 光源不但发射出不同量的不同频率的光，而且它们的方向属性随着频率也可能不同
 - 真正的物理模型将非常复杂
- 人的视觉系统是基于三原色理论的
- 在大多数应用中，可以用三种成分—红、绿、蓝—的强度表示光源
 - 光亮度(luminance)函数为



$$\mathbf{L} = [L_r, L_g, L_b]$$

光源类型

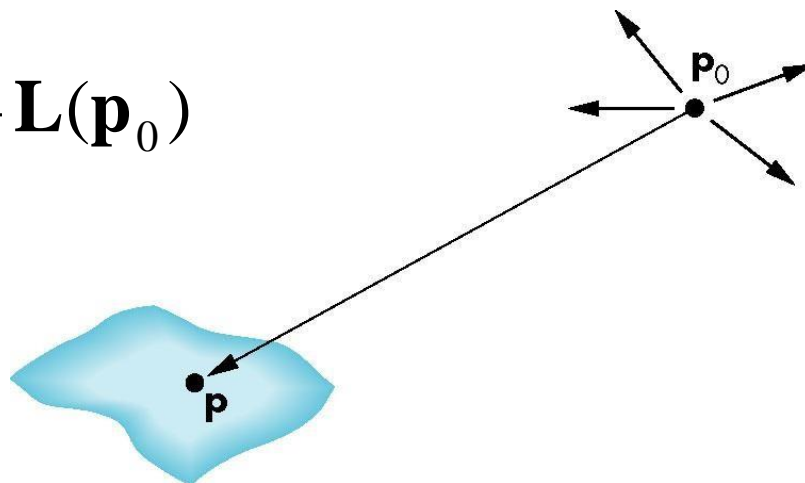
- 四种基本类型
 - 点光源
 - 聚光灯
 - 无穷远光源
 - 环境光



点光源

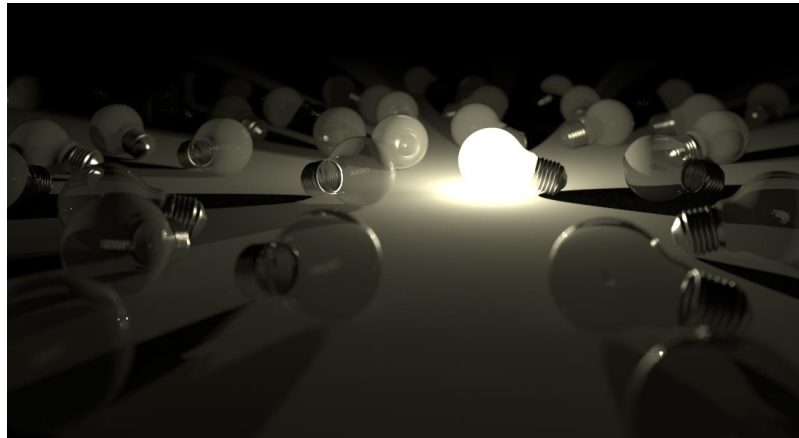
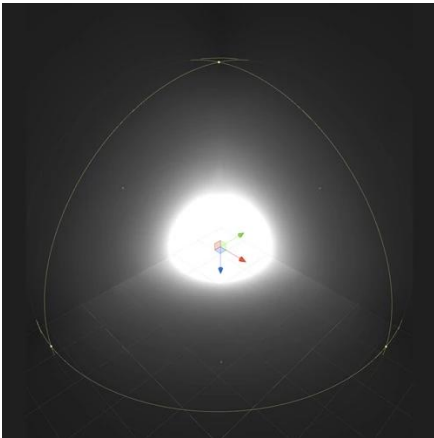
- 由位置和颜色表示
- 理想的点光源向各个方向发射光线的强度相等
- 点光源的亮度函数 $\mathbf{L}(\mathbf{p}_0) = [L_r(\mathbf{p}_0), L_g(\mathbf{p}_0), L_b(\mathbf{p}_0)]$
- 点 \mathbf{p} 接受的光强反比于光源与点的距离平方

$$\mathbf{L}(\mathbf{p}, \mathbf{p}_0) = \frac{1}{|\mathbf{p} - \mathbf{p}_0|^2} \mathbf{L}(\mathbf{p}_0)$$



点光源的应用

- 在计算机图形学中大量应用点光源，是因为它易于使用
- 但不能很好地反映物理现实
 - 只有点光源的场景得到的图像中对比度较高；对象显得要么很亮，要么很暗
 - 而真实的光源由于尺寸较大，因此场景的结果比较柔和

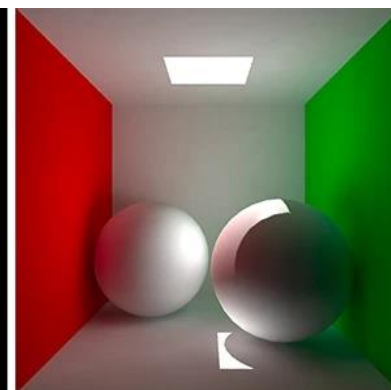
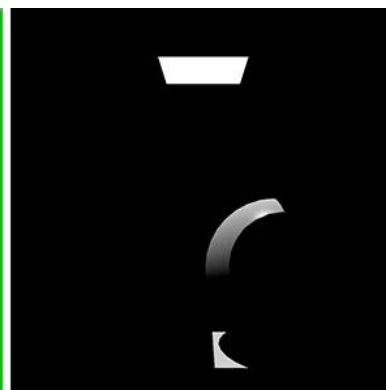
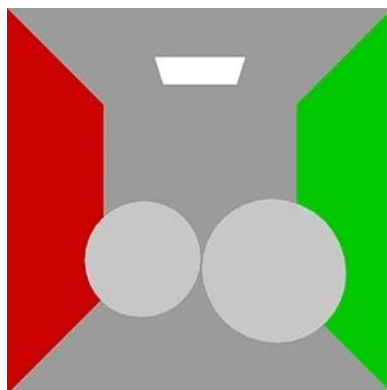
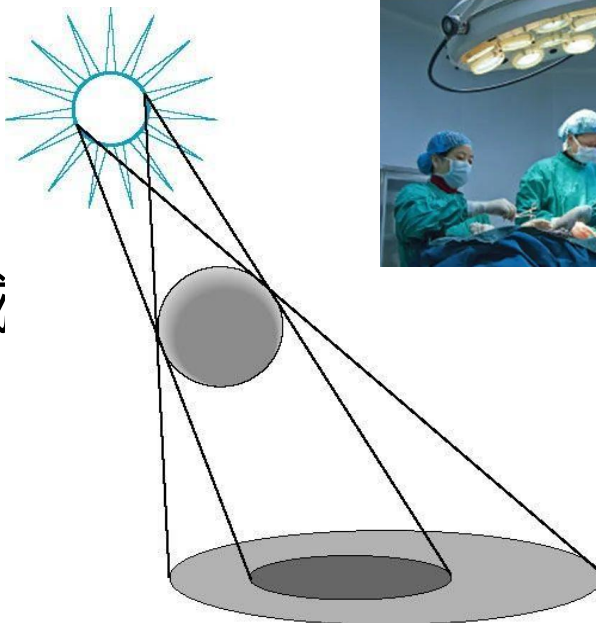


真实光照

- 完全在阴影中的区域称为**本影**(umbra)

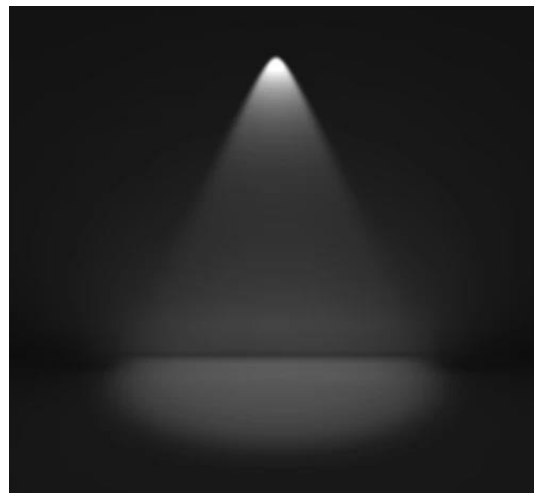
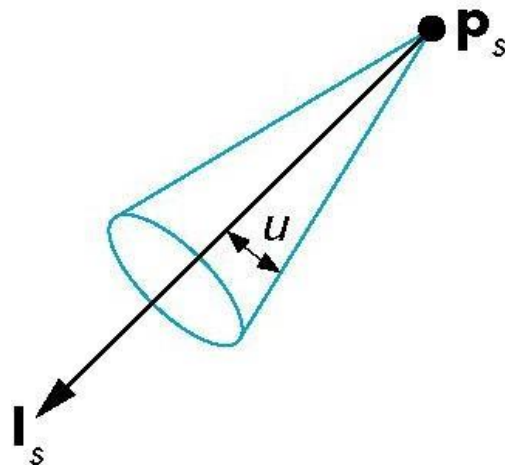
- 部分在阴影中的区域称为**半影**(penumbra)

- 可以在点光源中加入环境光降低对比度的问题



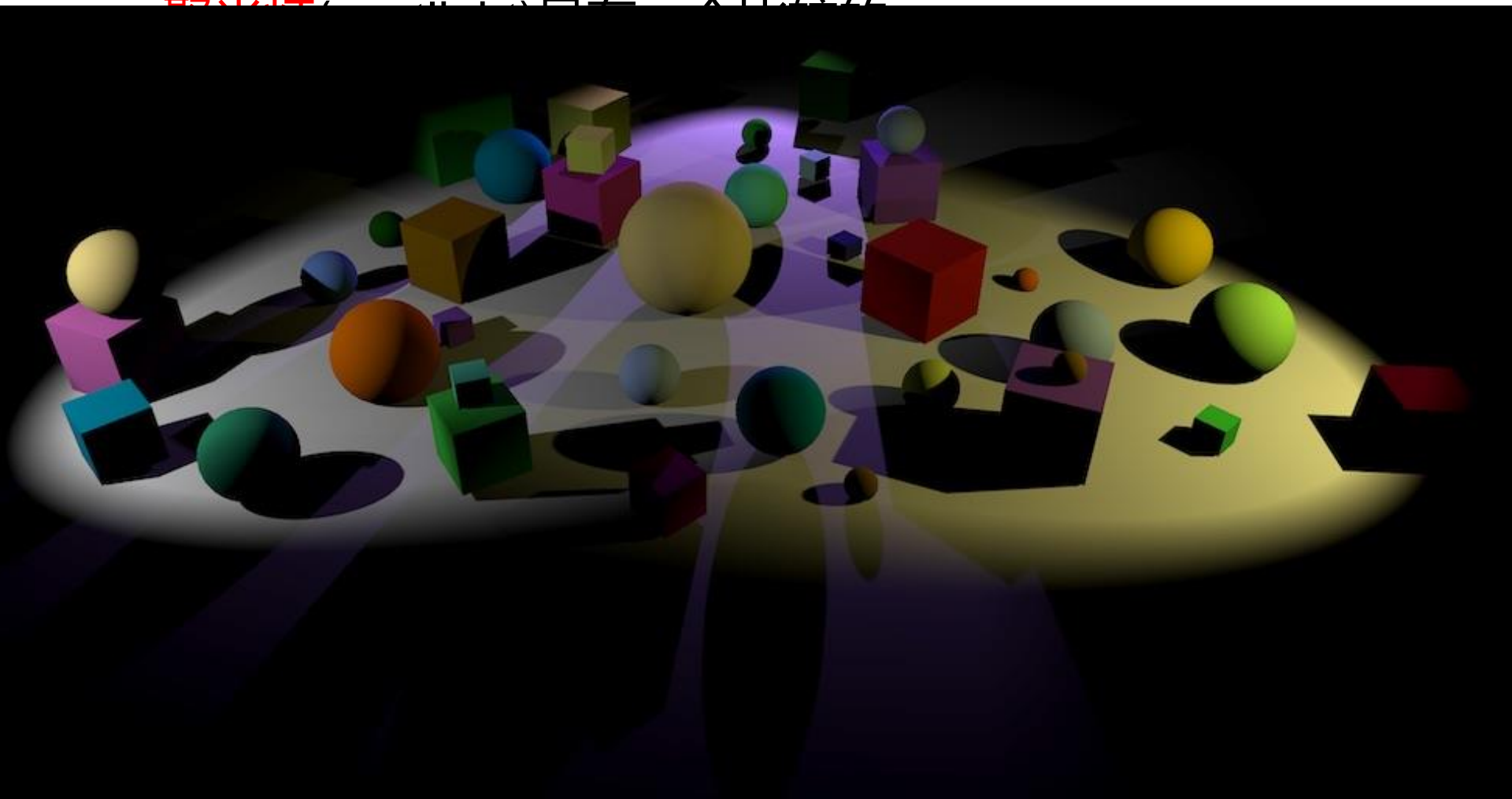
聚光灯

- 聚光灯(spotlight)具有一个比较的窄的照明范围，通常为圆锥形半无穷区域
 - 可以给点光源加上一定的限制得到
 - 锥的顶点在 p_s ，而中心轴方向为 l_s
 - 如果中心轴和母线的夹角 $\theta = 180^\circ$ ，聚光灯成为点光源



聚光灯

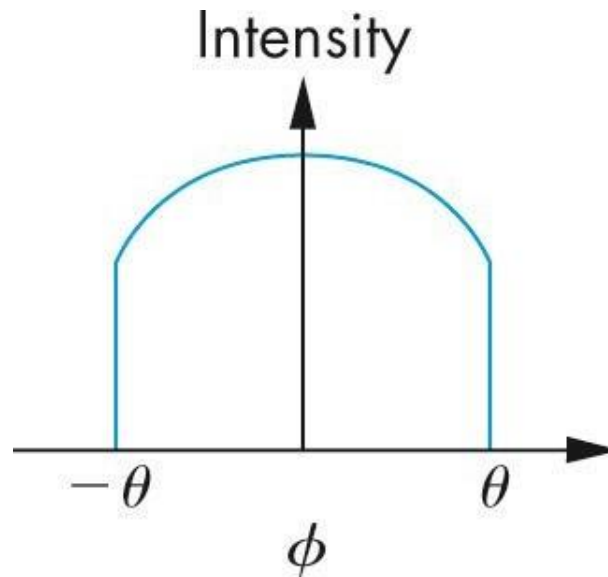
聚光灯 (Spotlight) 是场景中唯一可以移动的



光源 (Spotlight) 是场景中唯一可以移动的

更真实的聚光灯

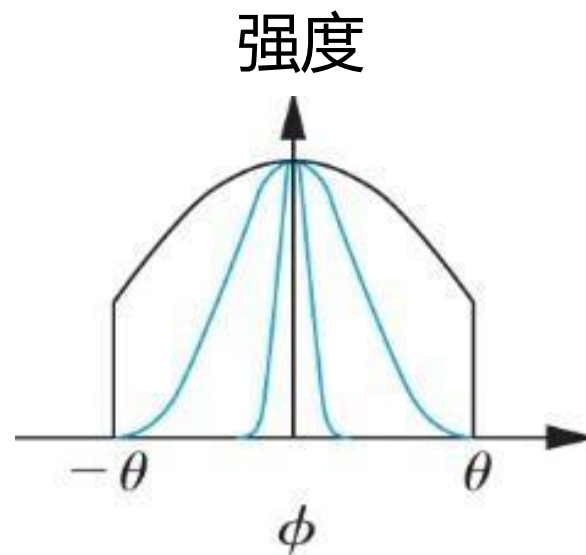
- 光亮度在照明锥内具有一定的分布
 - 通常绝大多数光集中在照明锥的中心轴附近
 - 照明强度是光源到表面上某点向量 \mathbf{s} 与中心轴夹角 ϕ 的函数



聚光灯的照明强度函数

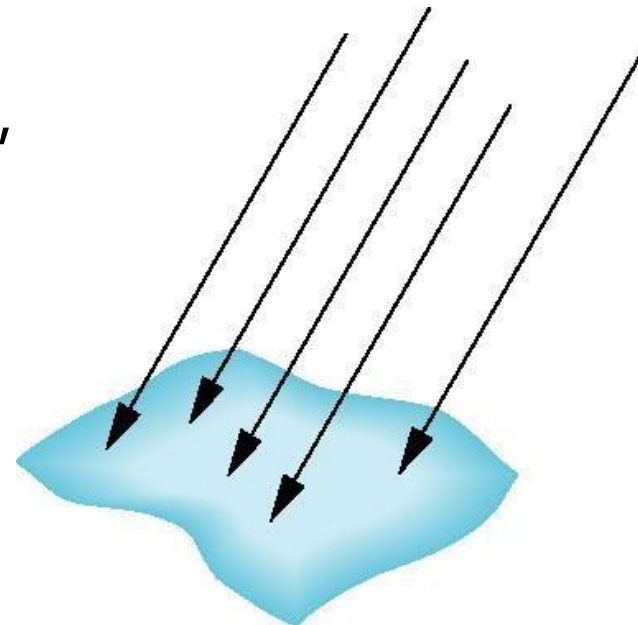
- 可以采用各种方式定义强度函数
- 通常定义为 $\cos^e \phi$
 - 指数 e 确定光强度衰减的快慢
 - 之所以采用余弦函数，是因为在这种情况下，非常容易计算出来它的值

$$\cos \phi = \mathbf{s} \cdot \mathbf{l}$$



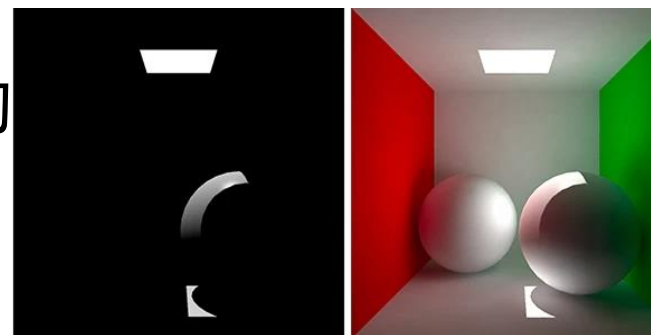
无穷远光源

- 在光照计算中需要当前点指向光源的方向向量
 - 入射方向为上述向量的相反向量，而且需要单位化
- 如果光源在无穷远，该向量为常数
 - 光线为平行线：平行光源
 - 太阳光是无穷远光源的典型代表



环境光

- 模拟均匀光照：在场景中每个点都具有相同的亮度
- 严格意义上说，环境光也是来自于某个光源，但由于在光照计算中进行了某些简化，需要用环境光来模拟多次反射后的效果
- 环境光亮度是由 $L_a = [L_{ar}, L_{ag}, L_{ab}]$ 确定的，在每点的值完全相同
 - 但各个表面对环境光的反射是不同的



光线与材料的相互作用

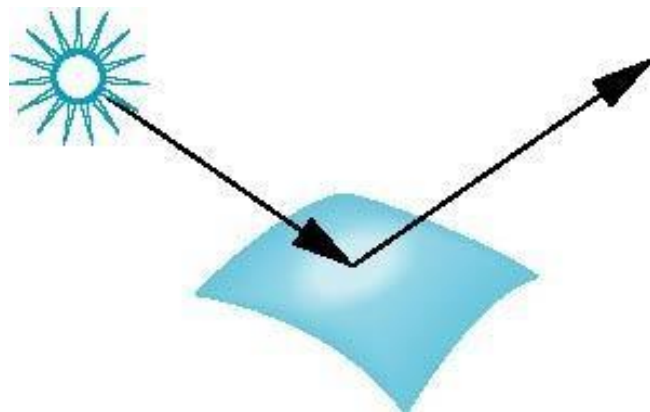
- 照射在对象上的光线部分被吸收，部分被散射（反射）
- 如果对象是透明的，有些光被折射
- 反射部分的多少确定对象的颜色与亮度
 - 对象表面在白光下看起来是红的，就是因为光线中的红色分量被反射，而其它分量被吸收
- 反射光被反射的方式是由表面的光滑程度和定向确定的

对象表面

- 如果对象表面光滑，对象显得明亮；如果表面粗糙，那么就显得暗淡
- 表面有三种类型
 - 镜面 (specular surfaces)
 - 漫反射面 (diffuse surfaces)
 - 透明面 (translucent surfaces)

镜面 (Specular surfaces)

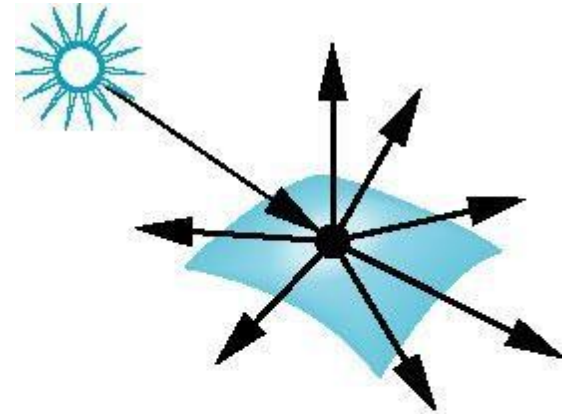
- 表面显得明亮，因为绝大多数光集中在严格镜面反射方向的周围
- 镜子是理想镜面模型
 - 入射光除部分被吸收外，全部以单一角度反射



光滑表面

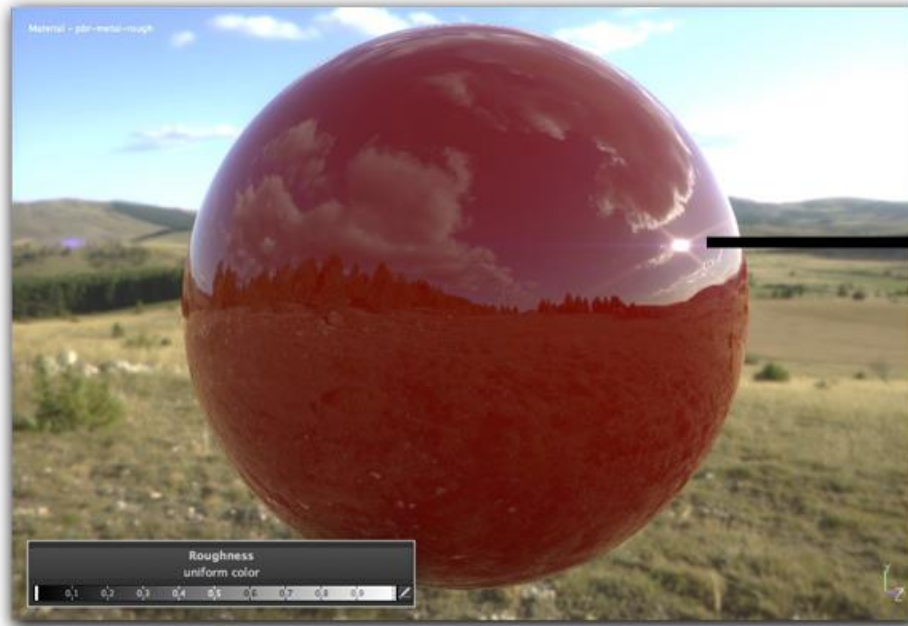
漫反射面 (diffuse surfaces)

- 特征是反射光线散射到各个方向
- 例如：涂有粗糙或无光涂料的墙面
- 理想漫反射面：把光线均匀散射到各个方向

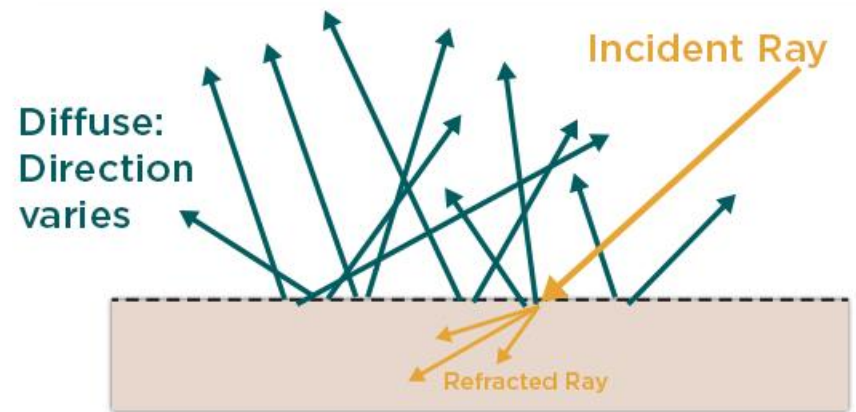
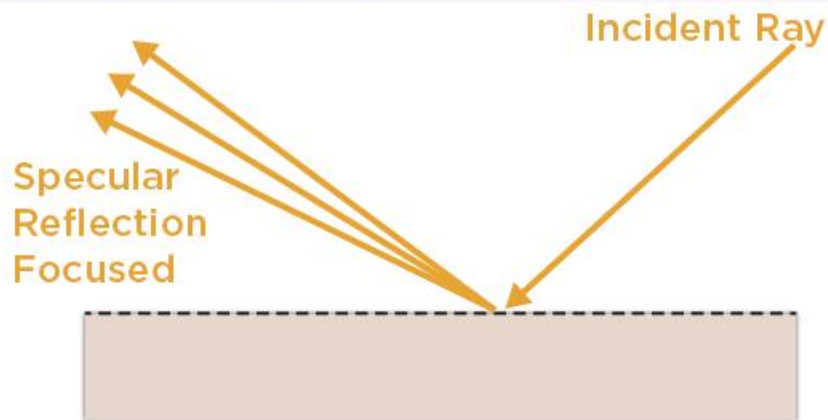
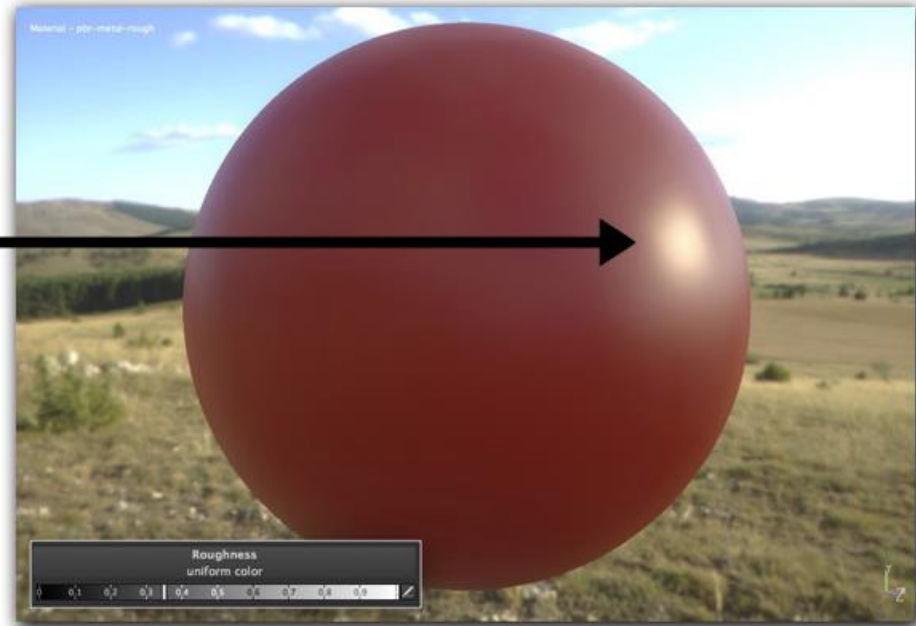


漫反射面

Smoother surface focus specular reflection

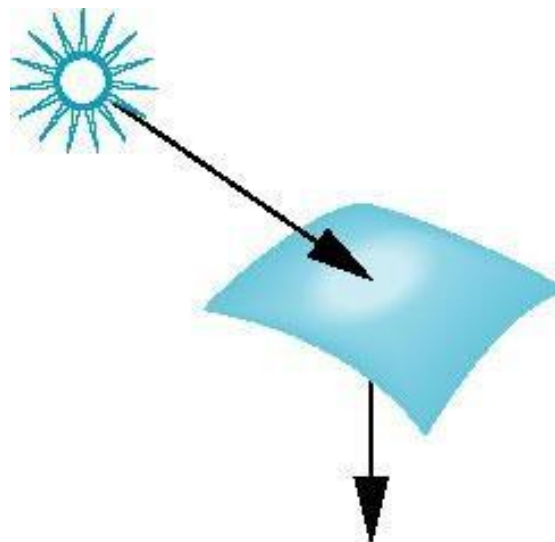


Rougher surface larger dimmer highlight



透明面

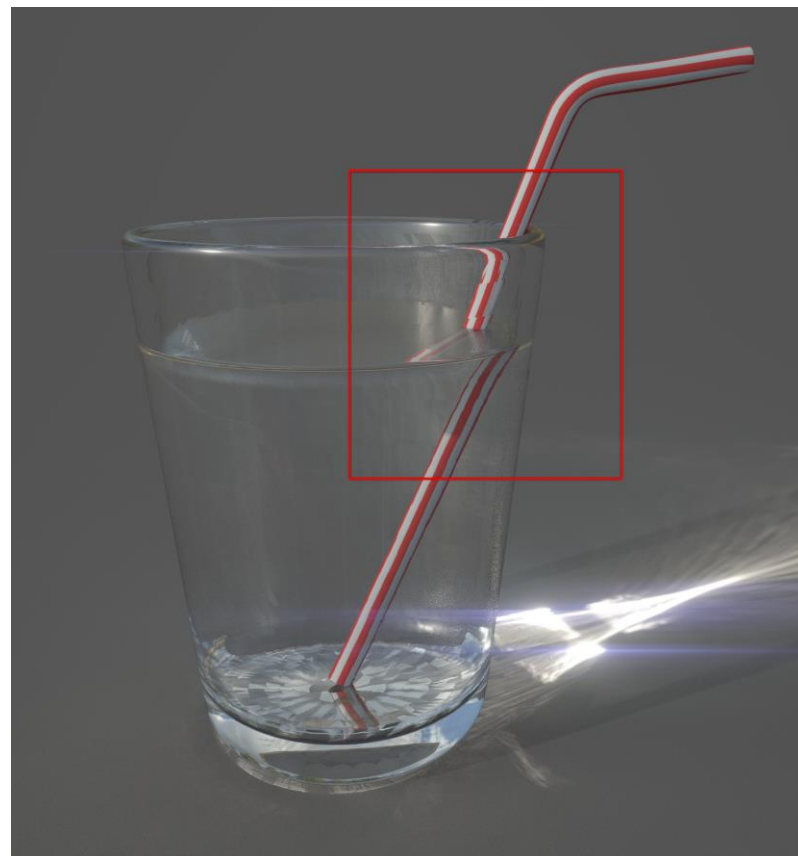
- 有些光可以进入表面，从对象的另一处出来
- 例如：玻璃与水中的折射
- 这时也会有部分光被表面反射



透明面

透明面

- 有些光可以进入表面，从对象的另一处出来
- 例如：玻璃与水中的折射
- 这时也会有部分光被表面反射



三种情形的表面

- 在三维场景中的每个对象的表面可以是上述三种情形中的任一种，也可以是其中两种或三种的综合
- 每种情形所占比例由对象表面的性态确定

