

# 基于物理的渲染

华中科技大学软件学院 万琳



## 提纲

- ① PBR的概念
- ② BRDF主要理论
- ③ 效果演示

# 1

## PBR的概念

定义：**基于物理的渲染方式**（**Physically Based Rendering**）

物理渲染是一种着色和渲染技术，通过使用更符合物理学规律的方式来模拟光线使得物体看起来更具真实性。





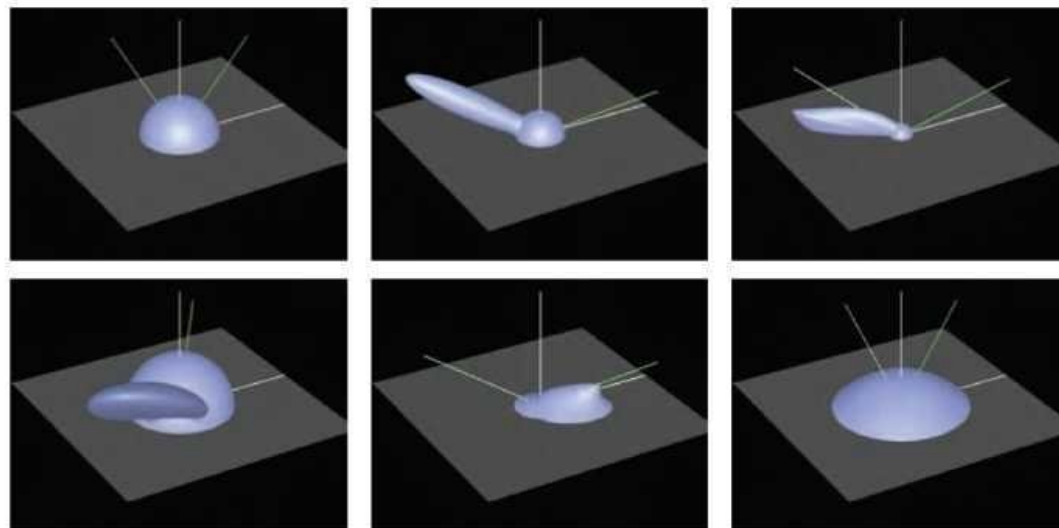
# 1

## PBR的概念

核心技术：

BRDF ( Bidirectional Reflection Distribution Function , 双向反射分布函数 )

它描述的是物体表面将光从任何一个入射方向反射到任何一个视点方向的反射特性，即从入射光经过某个表面反射后如何在各个出射方向上分布。



# 1

## PBR的概念

根据与BRDF的契合度，常见的PBR模型有以下几种：

- ① Lambert漫反射模型
- ② Phong 模型
- ③ Blinn-Phong 模型
- ④ 快速Phong模型
- ⑤ 可逆Phong模型
- ⑥ Cook-Torrance BRDF模型
- ⑦ Ward BRDF 模型

其中前5项为基于BRDF的**经验模型**，后2项为**基于物理的BRDF模型**。

## 2

# BRDF主要理论

- ◆ 次表面散射
- ◆ 菲涅尔反射
- ◆ 微平面理论

## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 次表面散射

真实世界中物体很多都是半透明的，比如皮肤、玉、蜡等。

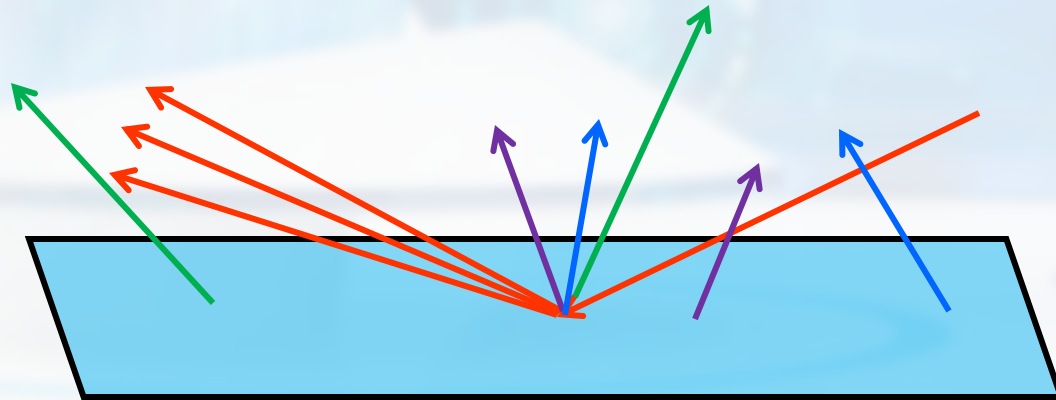


## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 次表面散射

次表面散射，Subsurface Scattering(简称SSS)，就是光射入半透明材质后在内部发生散射，最后射出物体并进入视野中产生的现象。



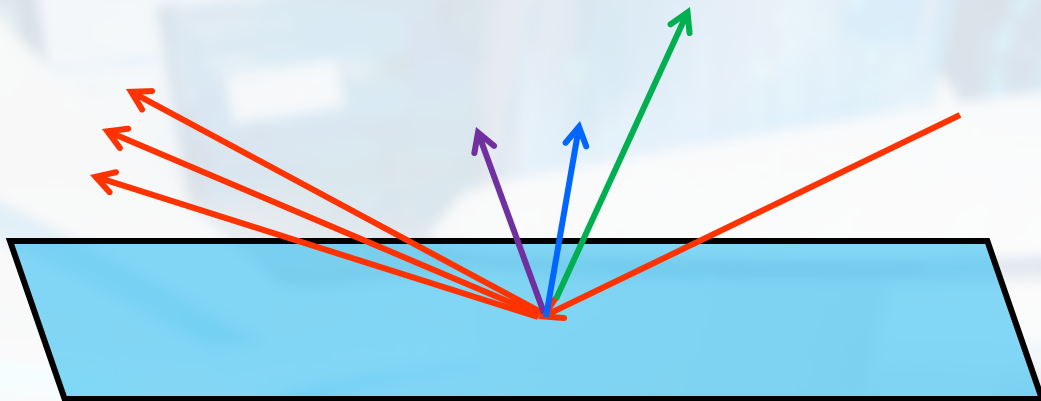


## 2

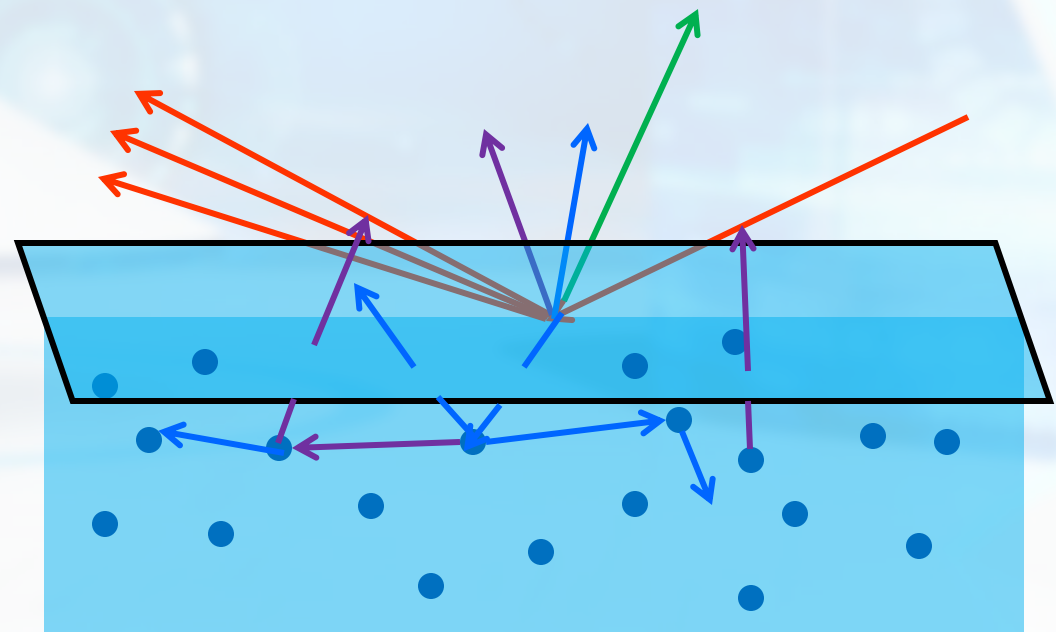
## BRDF主要理论

## ◆ 次表面散射

光从表面进入物体经过内部散射，然后又通过物体表面的其他顶点出射的光线传递过程。



除了有从入射口重新射出的光



有从其他顶点射出的光

## 2

# BRDF主要理论

### ◆ 次表面散射

制作说明：  
超能陆战队  
这个场景可以换成动图

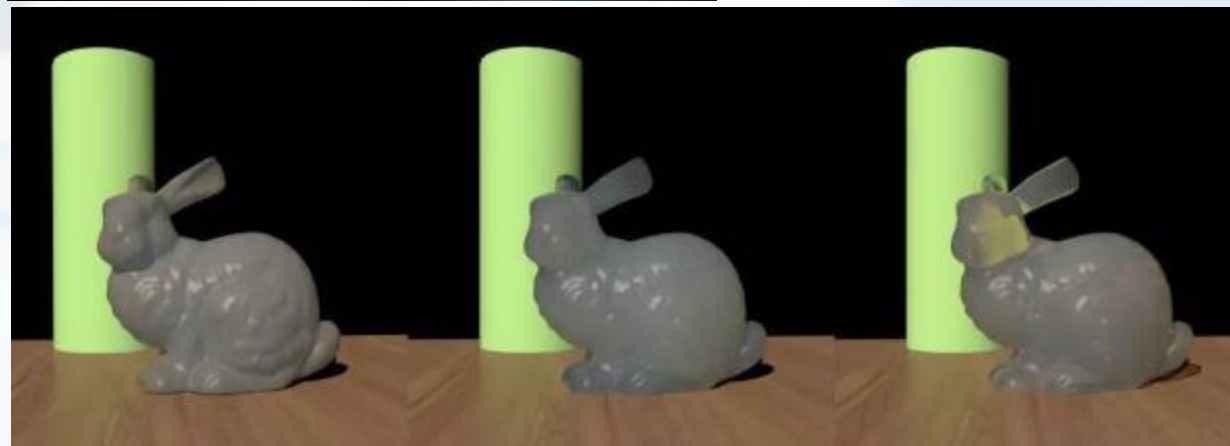
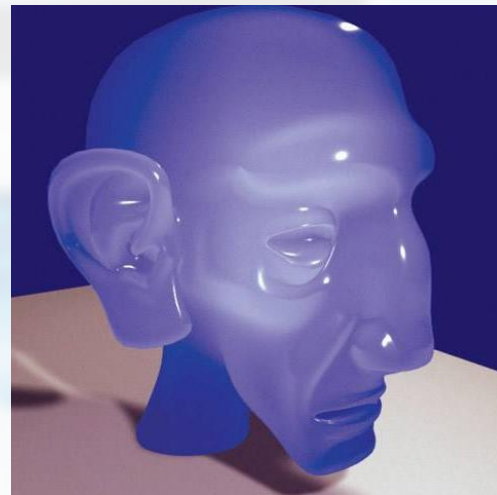


电影《超能陆战队》中大白的白色身体，略微有点透明的感觉，即典型的次表面散射

2

## BRDF主要理论

### ◆ 次表面散射





## 2

# BRDF主要理论

### ◆ 菲涅尔反射

菲涅尔反射（Fresnel Reflectance）或者菲涅尔效果（Fresnel Effect），即当光入射到折射率不同的两个材质的分界面时，一部分光会被反射，而我们所看到的光线会根据我们的观察角度以不同强度反射的现象。





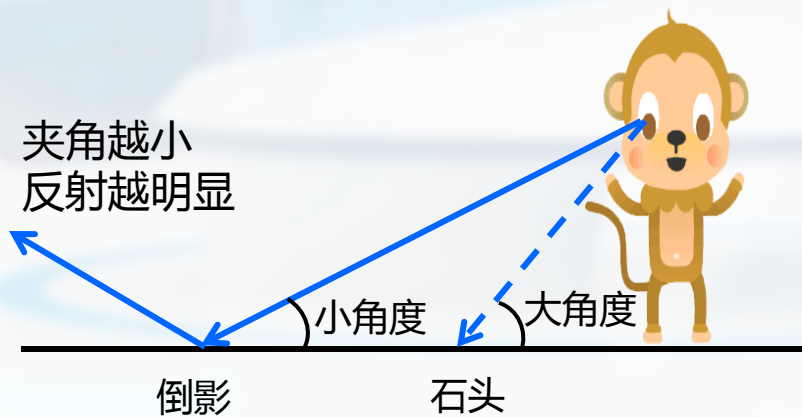
## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 菲涅尔反射

根据菲涅尔反射

- 视线垂直于表面时，反射较弱
- 视线并非若垂直于表面时，夹角越小，反射越明显



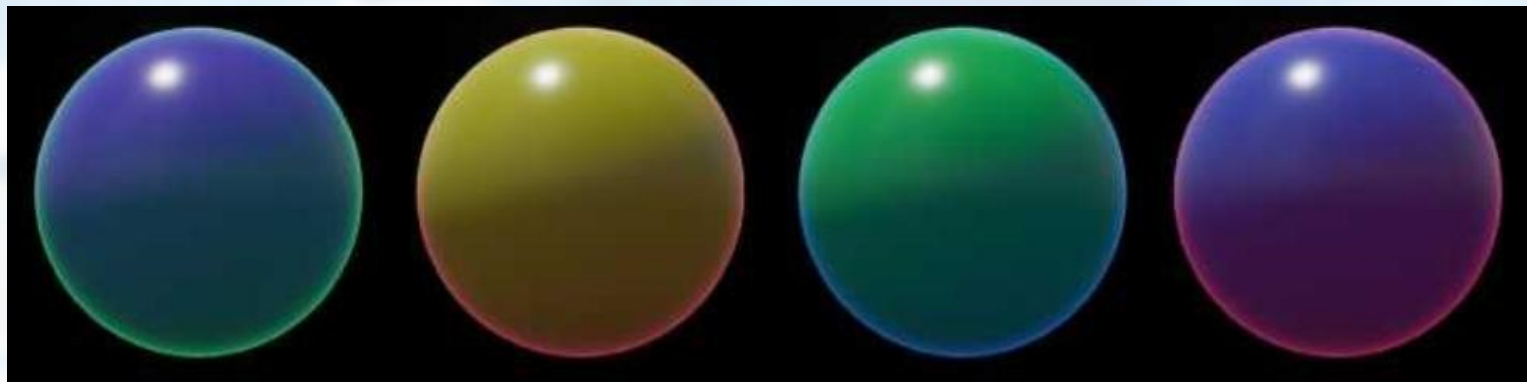
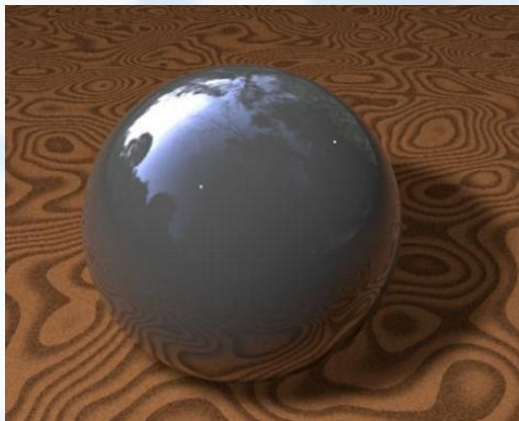
## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 菲涅尔反射

根据菲涅尔反射，若你看向一个圆球

- 圆球中心的反射会较弱
- 靠近边缘是反射会较强



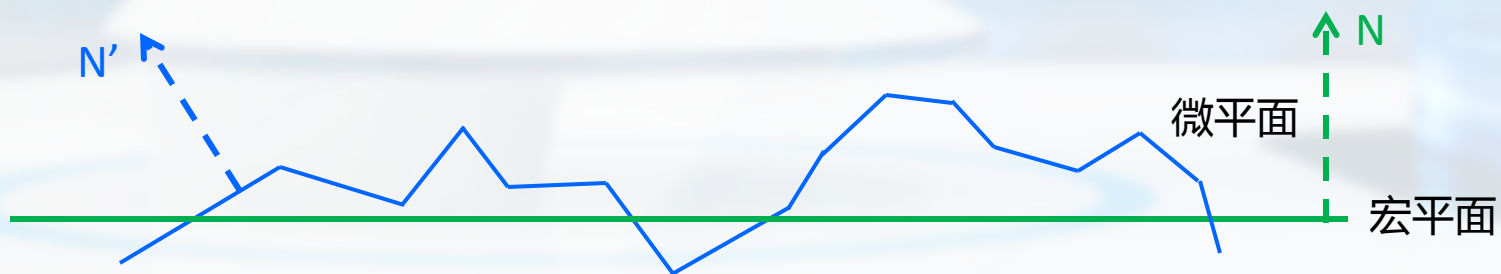
## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 微平面理论

所谓微平面理论，就是把物体表面看作是一系列细小的、我们肉眼不可见的平面所构成的宏平面（macrofacets），它整体有一个法向量方向 $N$ 。

这些细小的、我们肉眼不可见的平面就是微平面（microfacets），每一个微小的平面都会根据它自己单独的法线方向 $N'$  在一个方向上来计算反射光线。



## 2

## BRDF主要理论

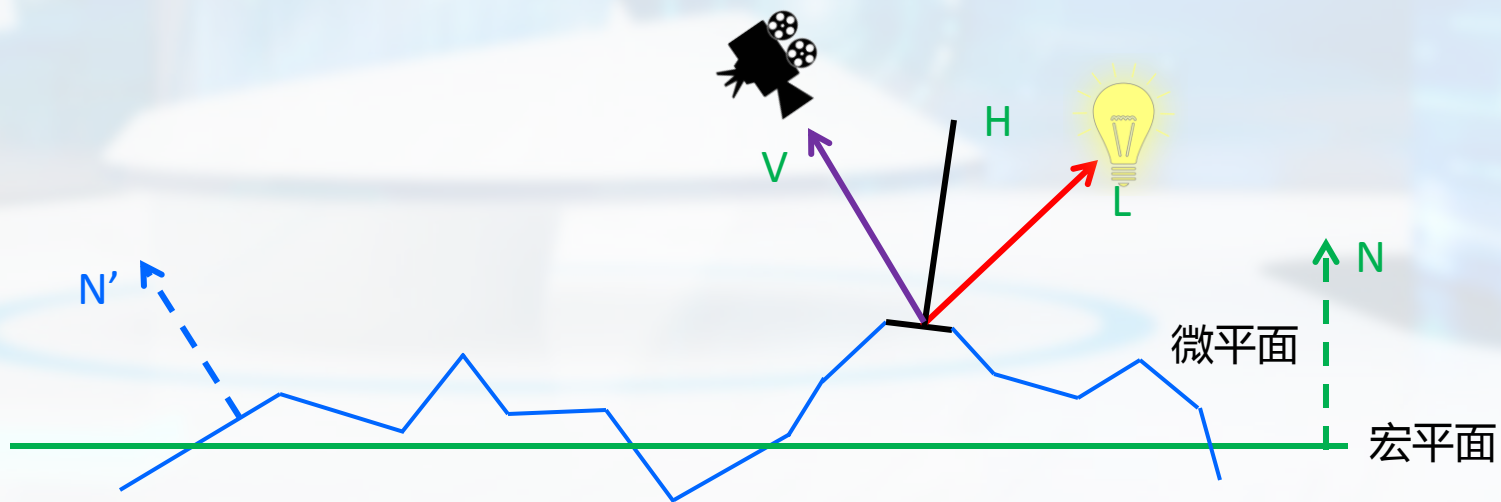
### ◆ 微平面理论

其中：

V为视点方向 L为光照方向

H为半角法线，也就是V和L的角平分线。

图中的这个黑色平面的法线与半角法线相等，所以会反射光线





## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 微平面理论

但是也不是所有这样的微平面都会反射光线，其中有部分可能会被遮挡。



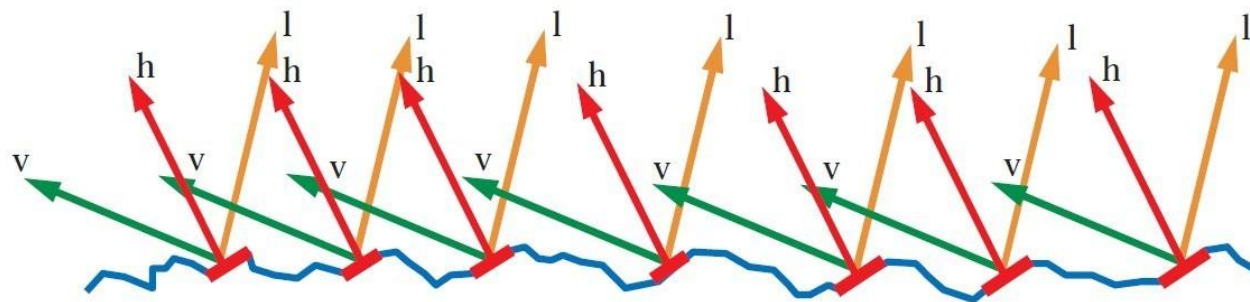
## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 微平面理论

用一个NDF ( Normal Distribution Function , 法线分布函数 )  $D(h)$ 来描述组成表面一点的所有微表面的法线分布概率。

可以这样理解：向 NDF 输入一个朝向  $h$  , NDF 会返回朝向是  $h$  的微表面数占微表面总数的比例，比如有 8% 的微表面朝向是  $h$  , 那么就有 8% 的微表面可能将光线反射到  $v$  方向。



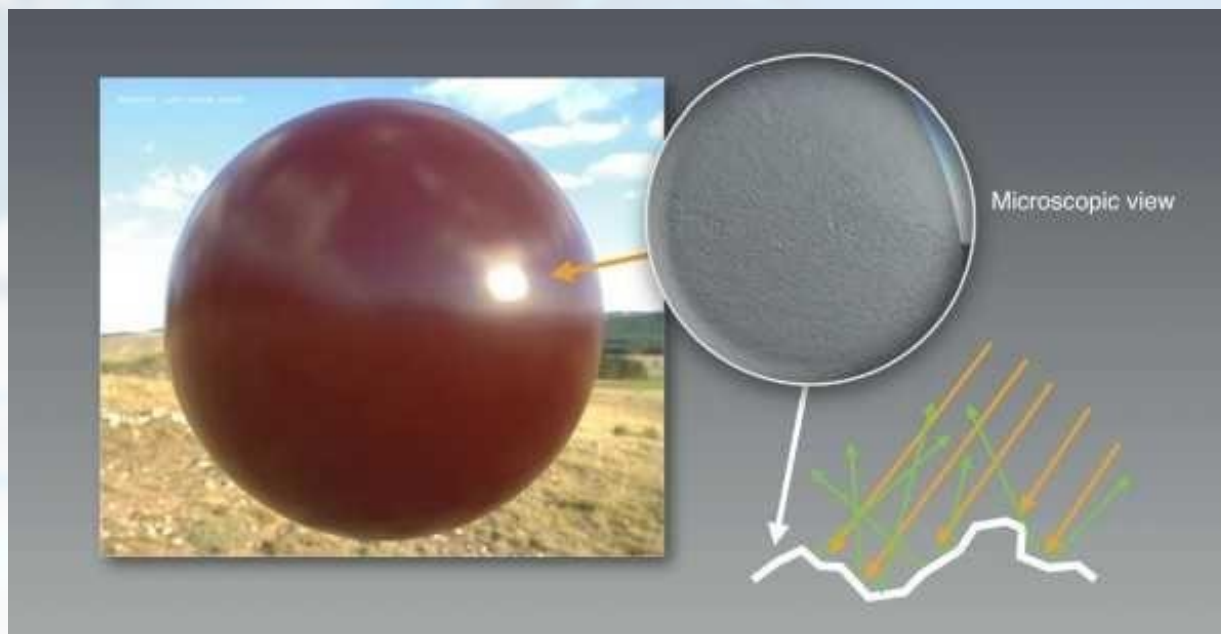
## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 微平面理论

在微观层面上不规则的表面会造成光的漫反射。

因此，我们得到的高光反射是模糊的





## 2

## BRDF主要理论

### ◆ 微平面理论

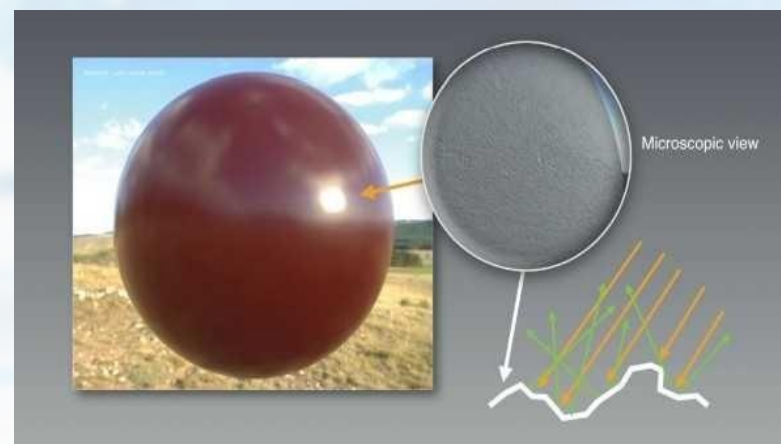
与几何纹理的区别：

几何纹理：给人凹凸不平的视觉效果

微平面：立足点在于——再光滑的表面，从微观上也是凹凸不平的



几何纹理



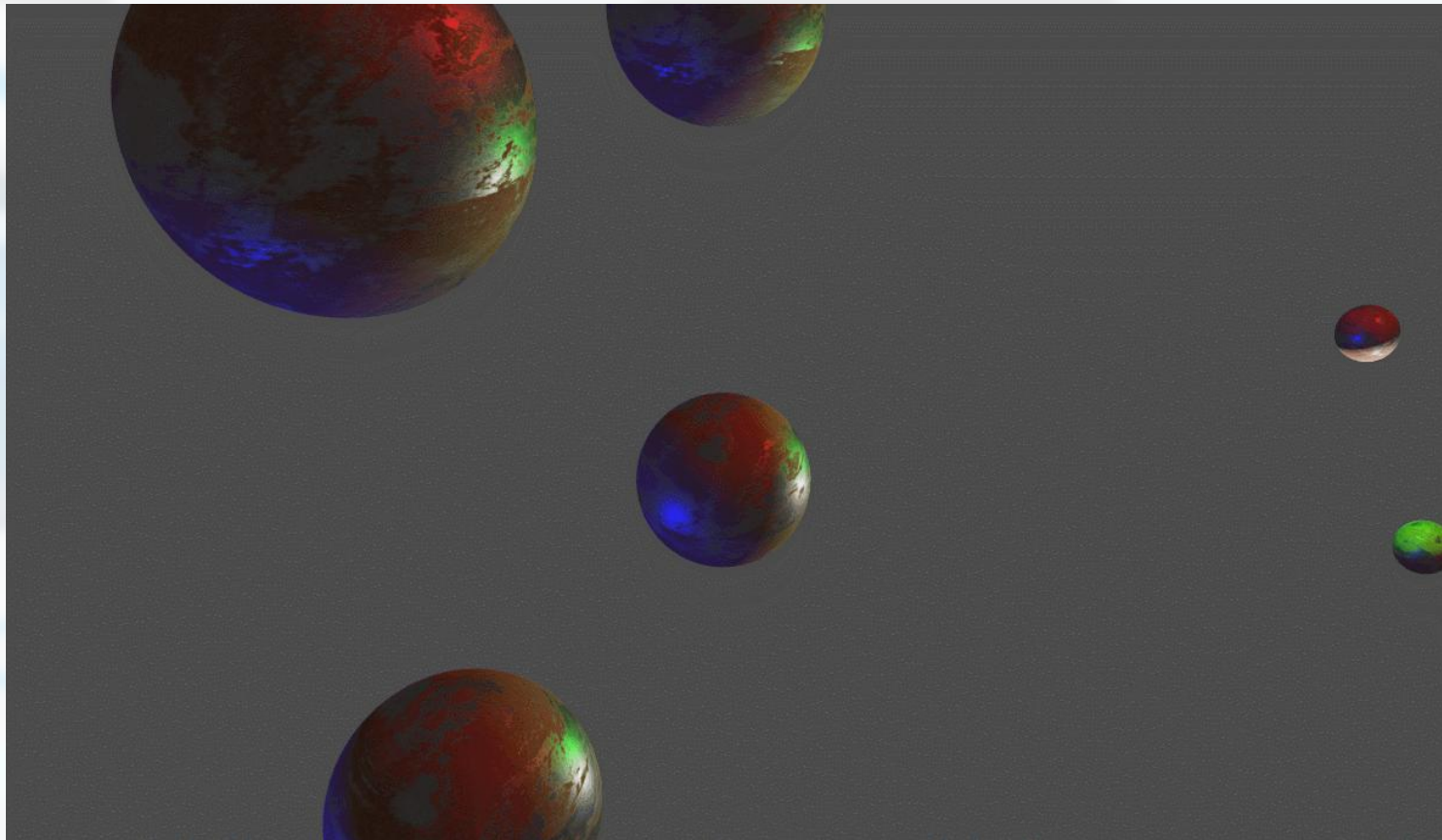
模糊的微平面高光反射



3

## 渲染效果

PBR实例：





谢谢

软件学院 万琳