

# 第3章 电流与电路



# 第3章 电流与电路

§ 3.1 电流与电流密度

§ 3.2 欧姆定律

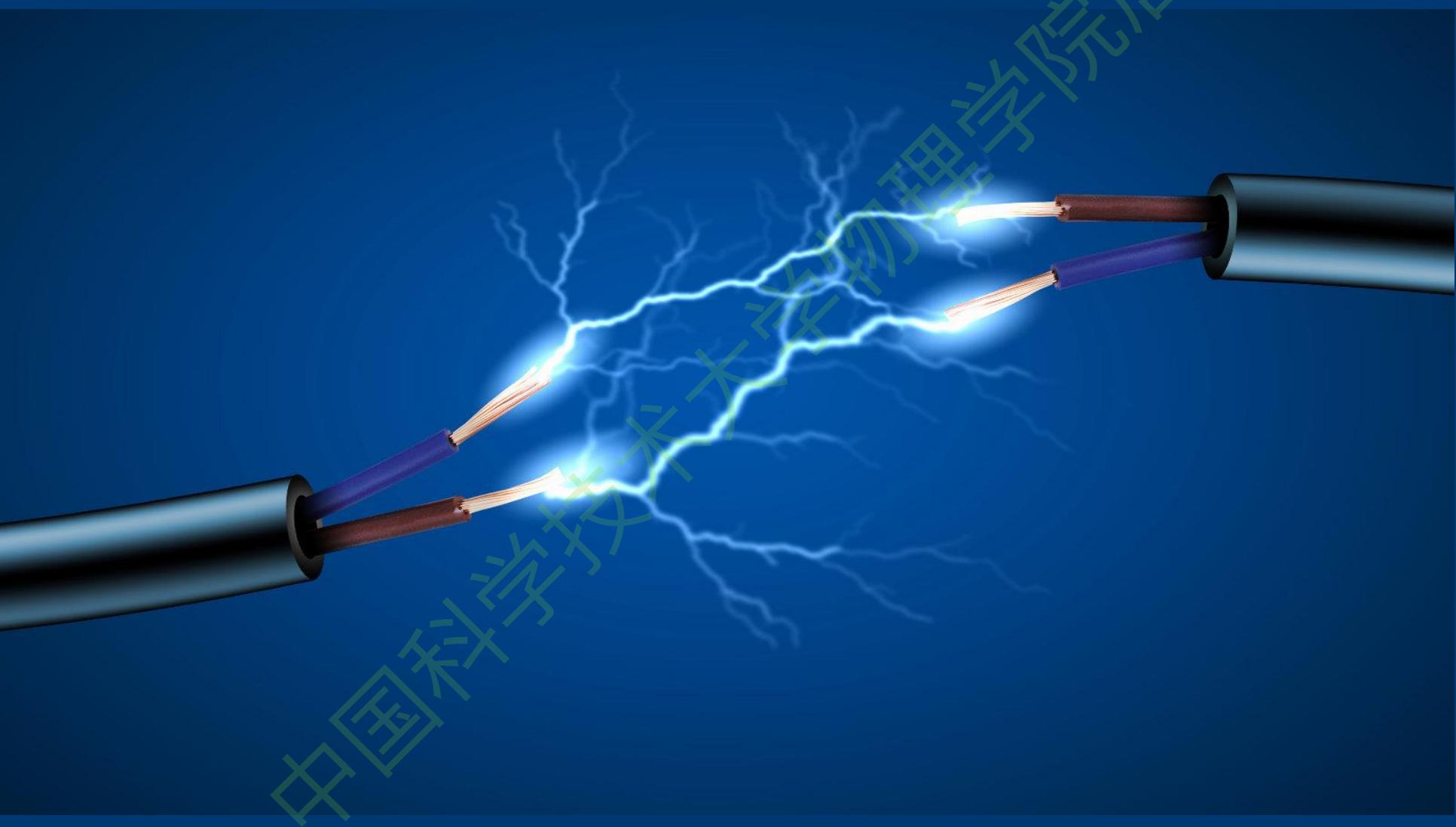
§ 3.3 电源及电动势

§ 3.4 直流电路的基本规律

§ 3.5 电压源与电流源

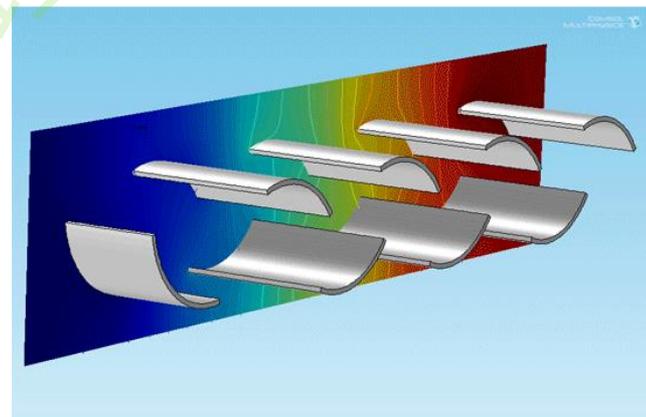
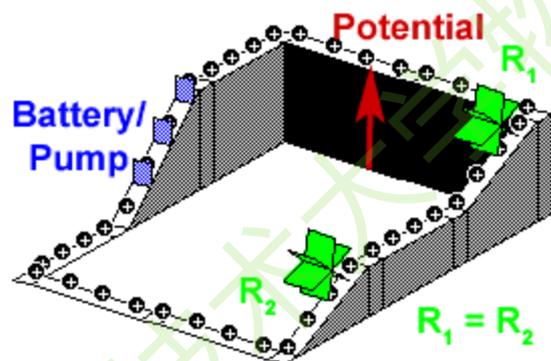
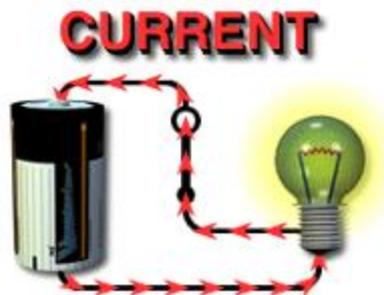
§ 3.6 地球的电环境

# § 3.1 电流与电流密度



## § 3.1.1 电流的形成

电流：大量电荷的定向运动



# 1. 产生电流的条件

- 存在载流子

要产生电流，必须存在可以自由运动的电荷，即载流子。

多数情况下，载流子是电子或某种带电微粒，如正负离子。

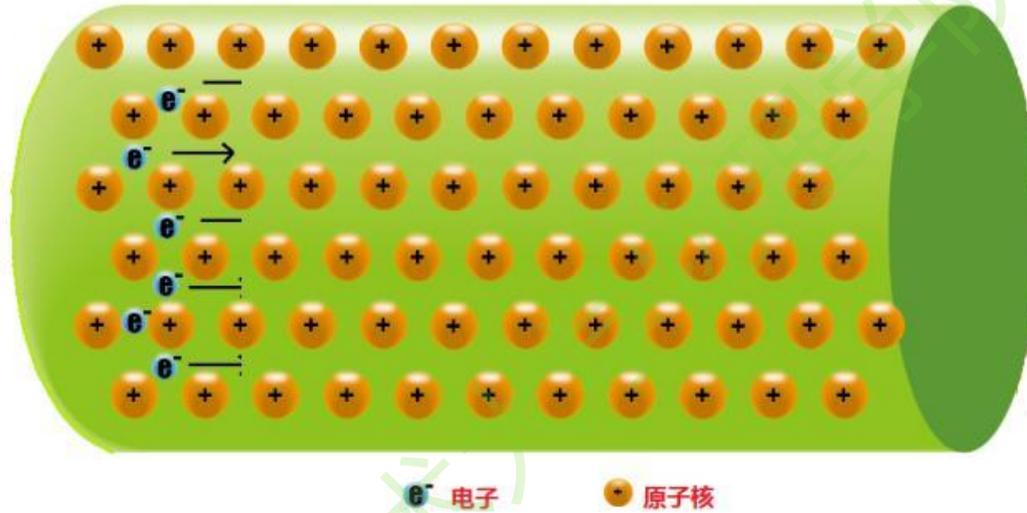
- 存在迫使电荷作定向运动的某种作用

要维持电荷的定向运动，这种作用是必不可少的。

有电磁作用、机械作用、化学作用等。

# 不同材料中的载流子

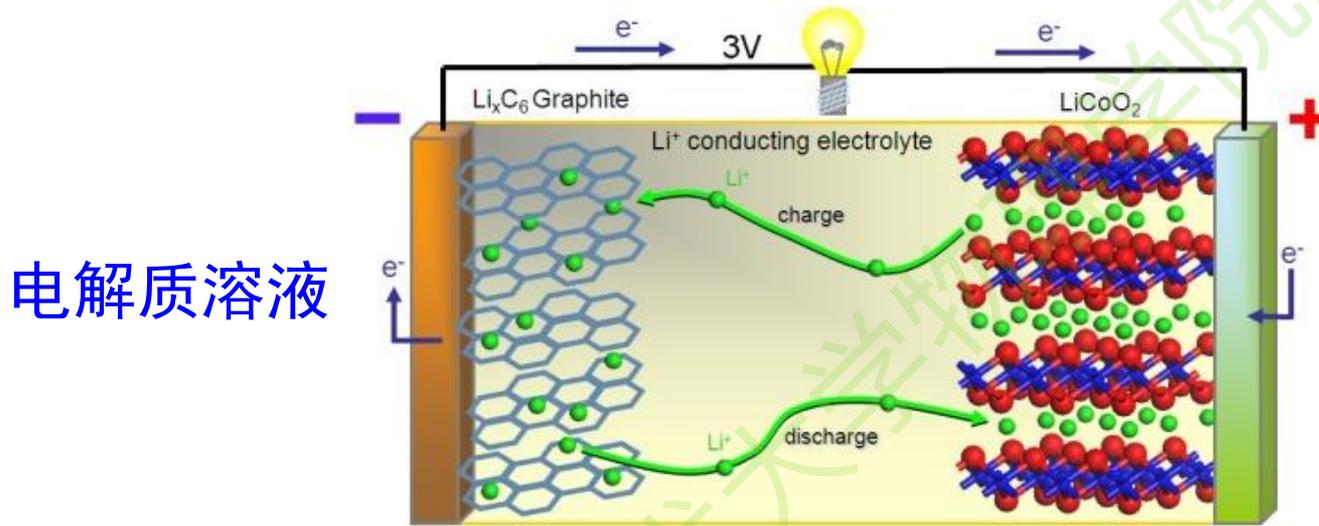
金属



金属中存在大量的自由电子，做无规则的热运动。

当金属处在电场中时，自由电子因电场力而做定向运动，从而形成金属中的电流。

# 电解溶液

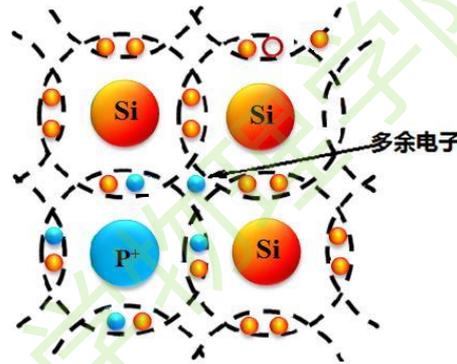
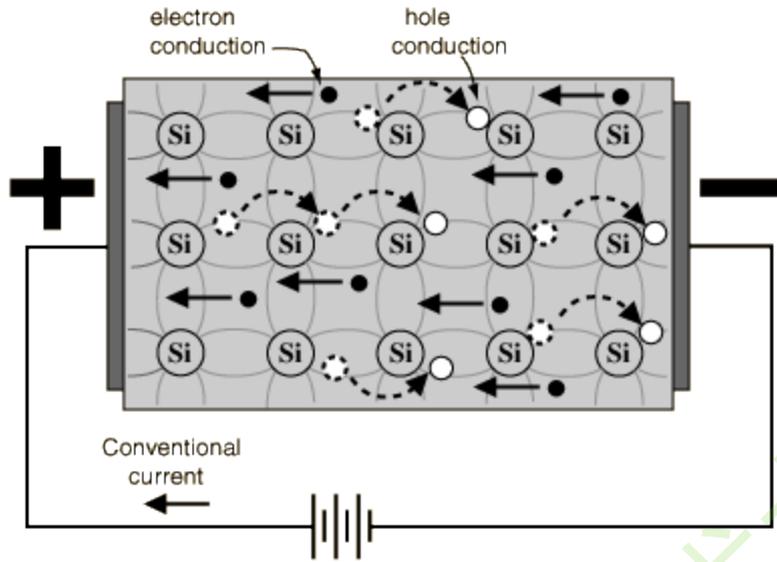


当酸、碱、盐等电解溶液处在电场中时，正、负离子因受电场作用而分别向相反的方向运动，从而形成电解溶液中的电流。

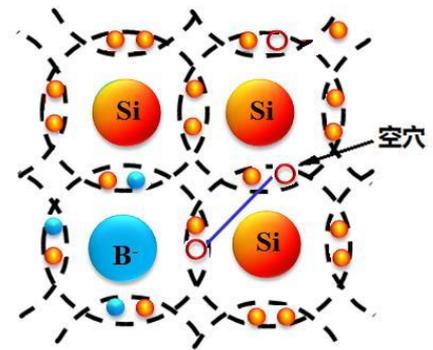
正负电荷向相反方向产生的电流效果是一样的。

# 半导体

## 半导体



(a) 掺入磷后，磷多余的电子贡献为自由电子

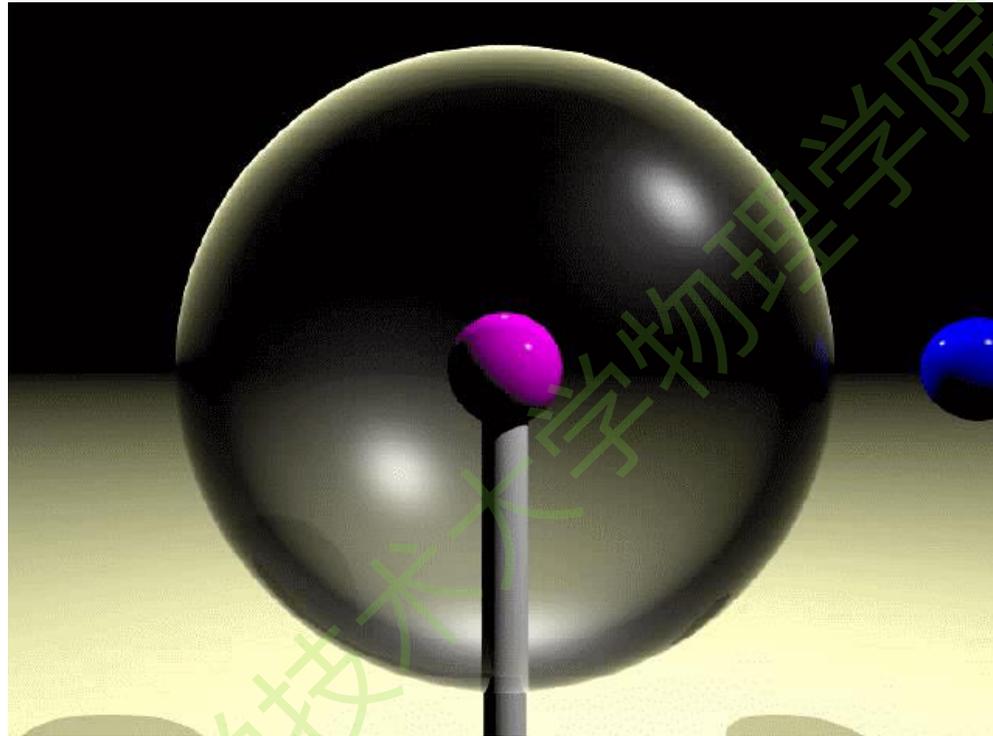


(b) 掺入硼后，硼接收一个电子成为离子，空穴增多。

半导体材料中的载流子是**电子和空穴**。

半导体中载流子的密度和定向运动与电场的强度，以及温度、光照等因素密切相关。

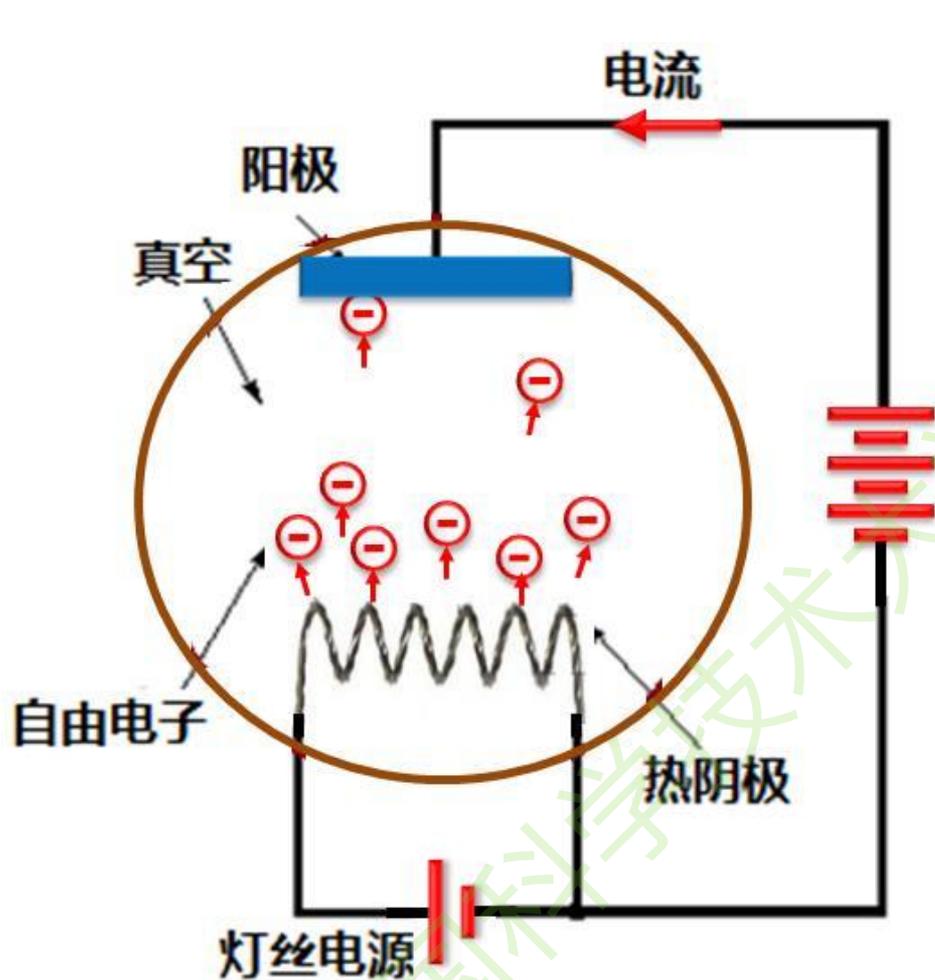
# 等离子体（导电气体）



通常情况下，气体没有载流子，没有导电性。

但当气体分子被电离后，产生电子和离子，具有导电性。

## 2. 真空中的电流



### 热电子发射

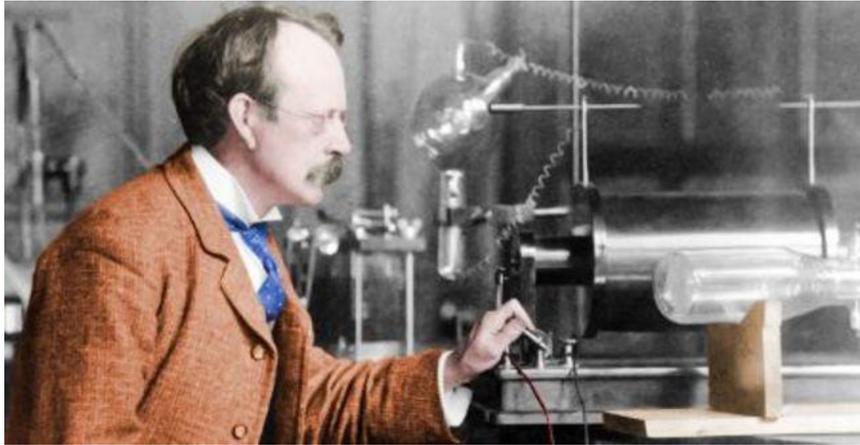
真空中没有电子。金属表面的电子无法突破势垒进入真空。

当金属变热时，自由电子热运动加剧，电子动能变大。

电子动能大到一定程度，可以突破金属表面的势垒，进入真空，形成电流。

灯丝为何会发热？

# 阴极射线管 Cathode-Ray Tube



J. J. Thomson (1856-1940)

1897年用阴极射线管发现电子

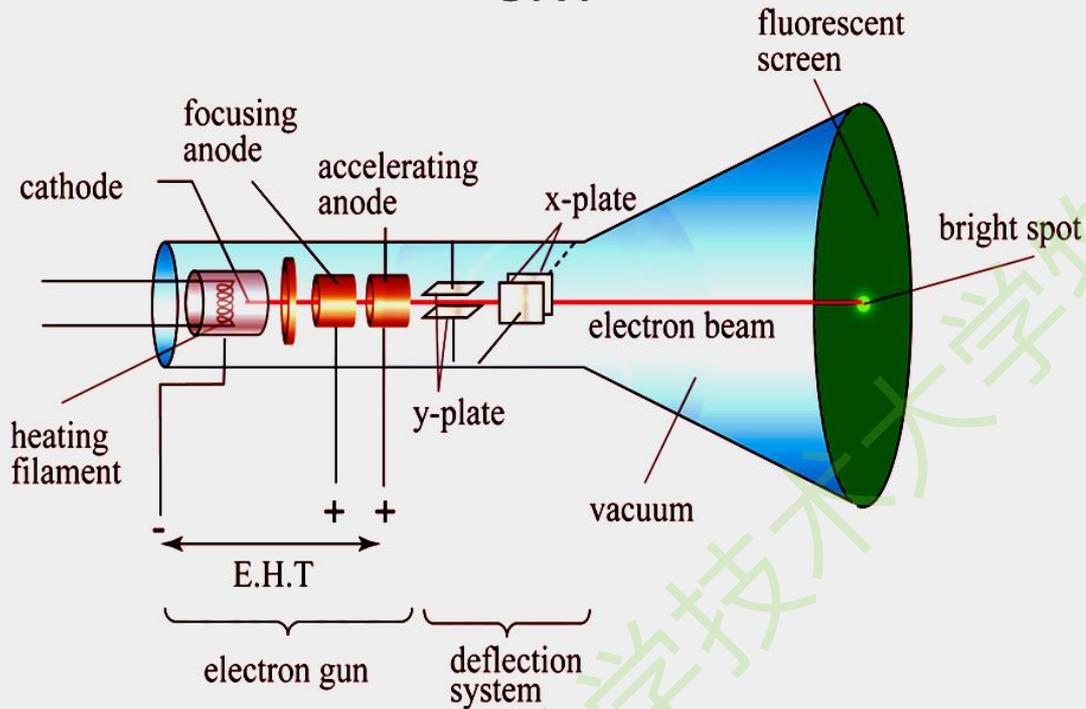
Nobel in Physics  
1906



*"In recognition of the great merits of his theoretical and experimental investigations on the **conduction of electricity by gases.**"*

# Cathode-Ray Tube (CRT)

## CRT



# 隧道电流

当金属之间距离足够近的时候，电子有一定几率贯穿势垒而进入真空，在一定条件下形成微弱的隧道电流。

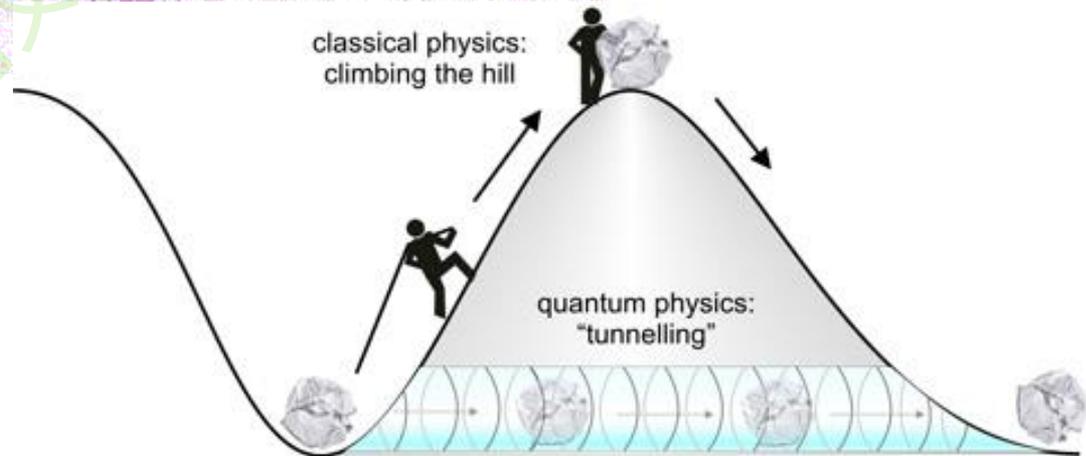
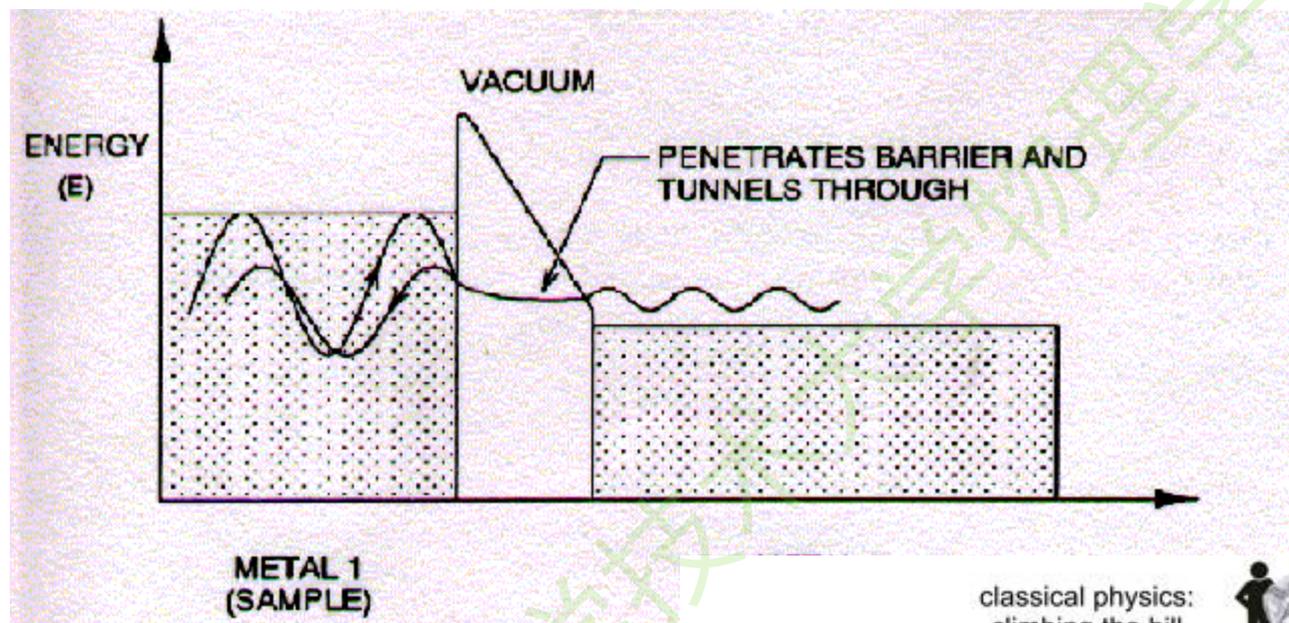
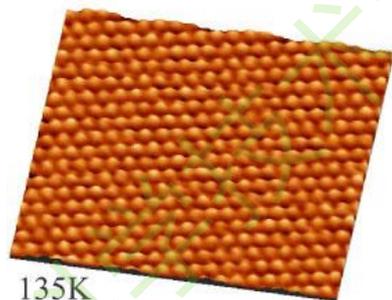
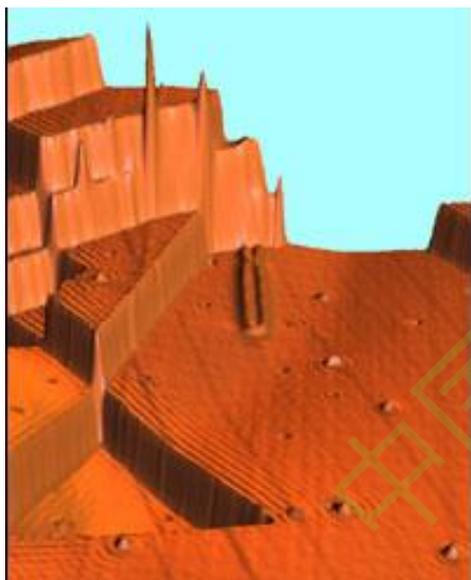
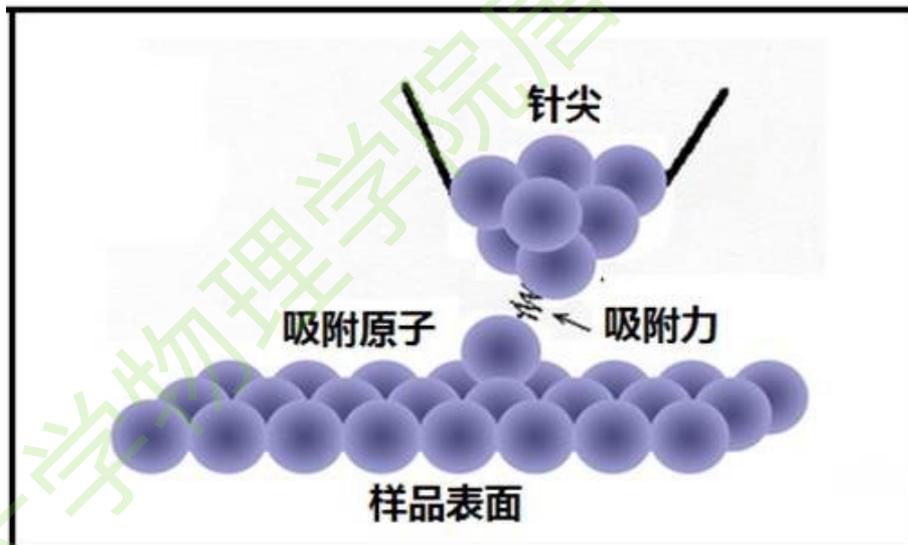
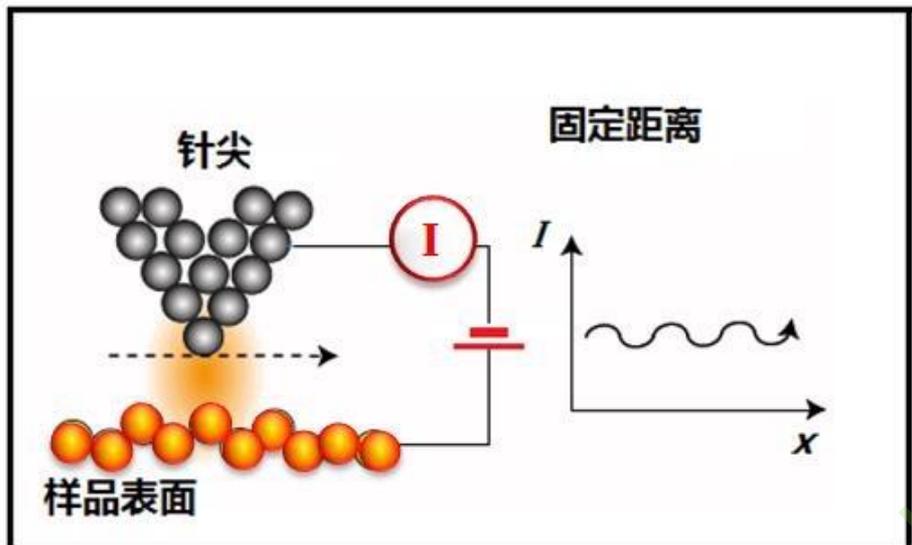


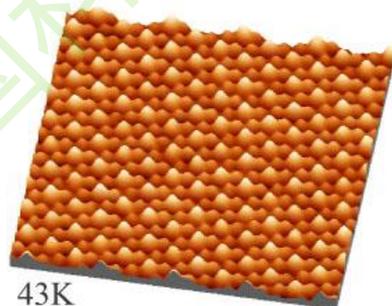
Fig. 1

# 扫描隧道显微镜

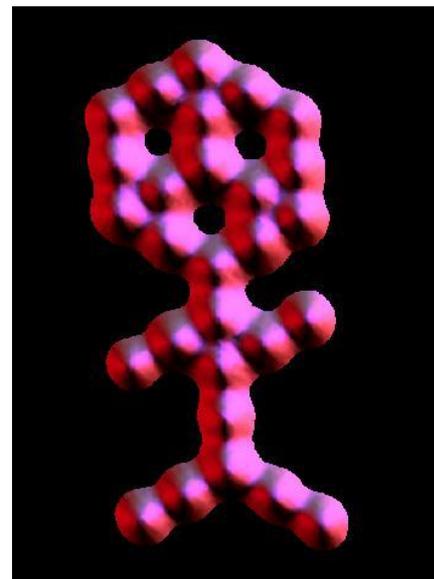
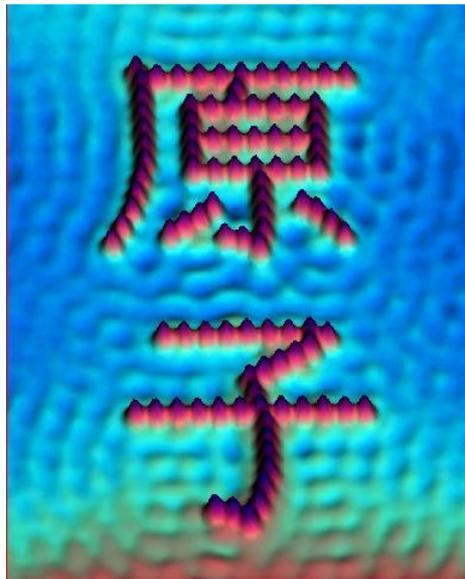
# 单原子操控



135K



43K



## § 3.1.2 电流强度与电流密度

### 1. 电流强度

**电流强度**：单位时间通过导体某一横截面的电量。

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

单位：库仑/秒；**安培**；A

毫安：1mA =  $10^{-3}$  A

微安：1  $\mu$ A =  $10^{-6}$  A

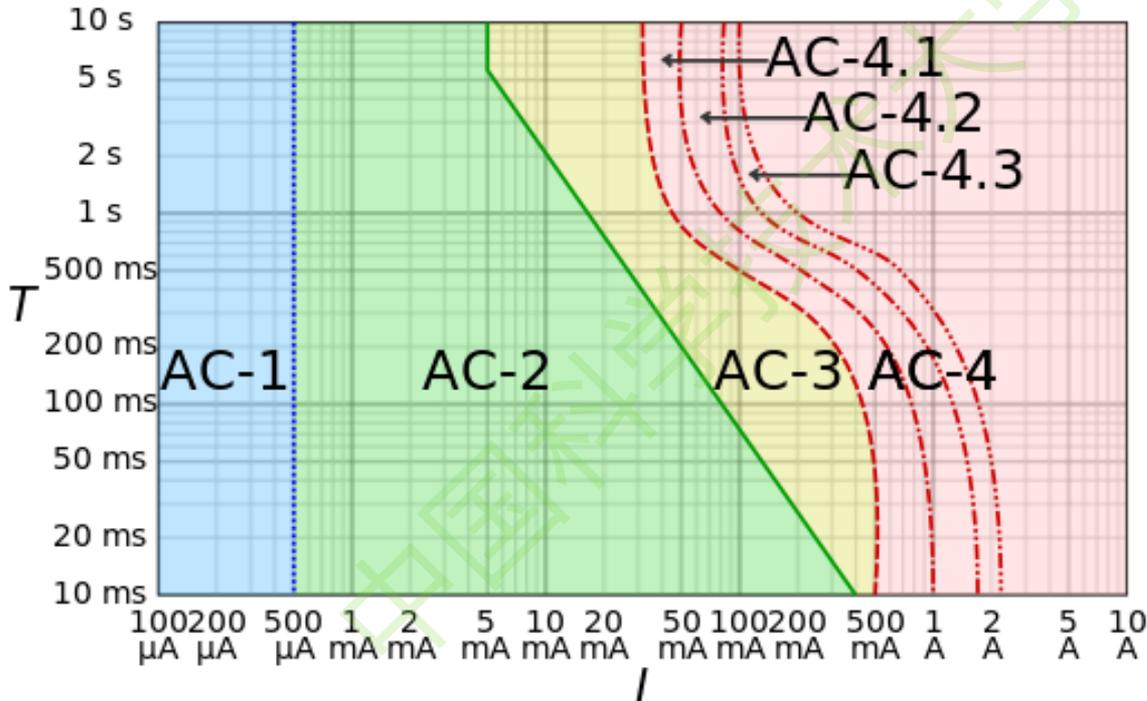
纳安：1 nA =  $10^{-9}$  A

# 安全用电



国家规定36V交流电压为安全电压

真正起作用的其实是电流



AC-1: 感觉不到

AC-2: 感知，但没有肌肉反应

AC-3: 可逆的肌肉收缩

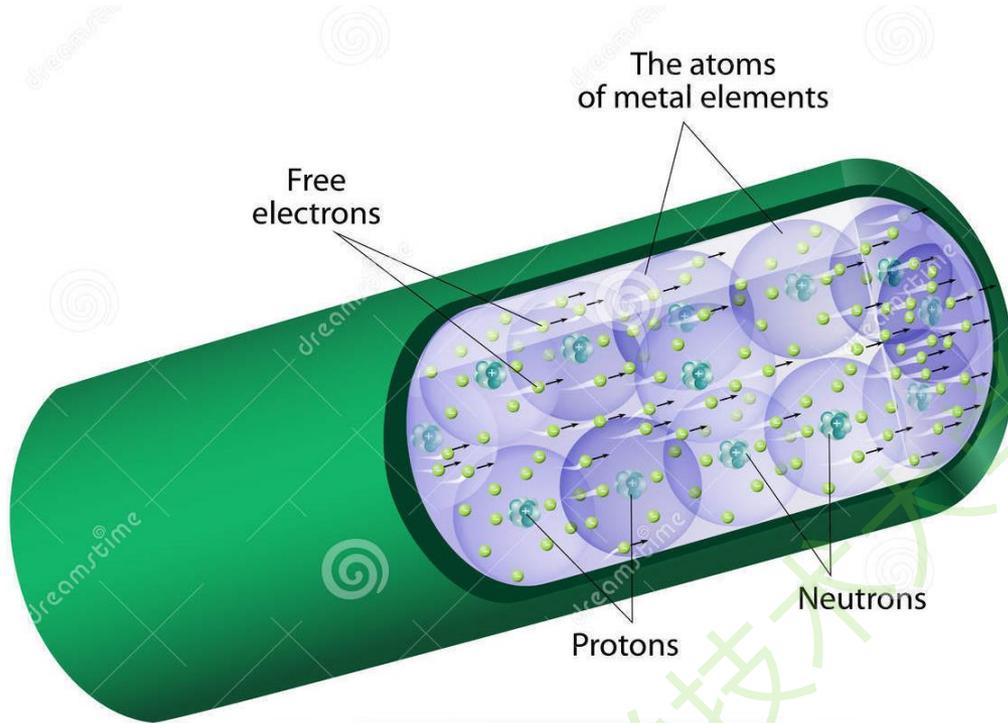
AC-4: 发生不可逆的影响

AC-4.1: 5%几率心室颤动

AC-4.2: 5-50%的几率

AC-4.3: 超过50%的几率

# 电流的方向



电子的平均运动速率很大  
 $10^6$  m/s

但无电场时平均速度为0

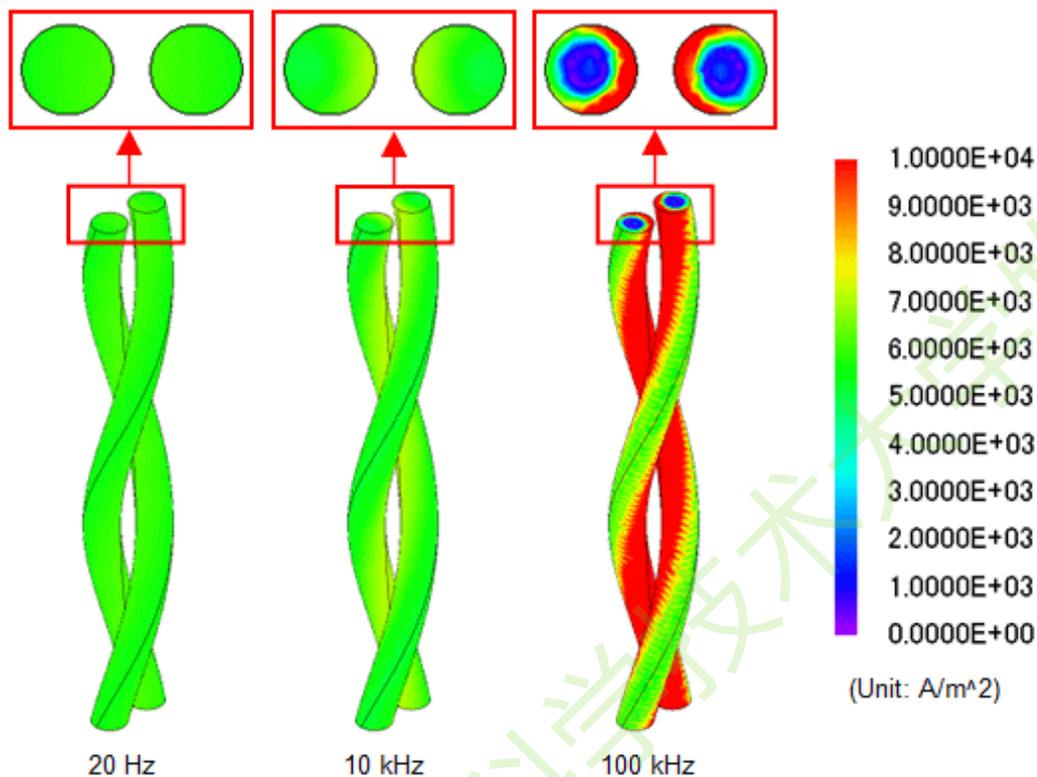
**定向**运动产生电流

习惯上定义电流的参考方向为：

带**正电**的载流子的定向运动方向

带**负电**的载流子的定向运动**反**方向

## 2. 电流密度



电流强度只表示导体中某一截面的总电流大小。

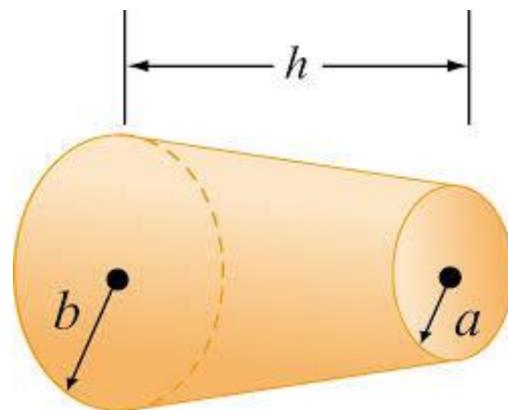
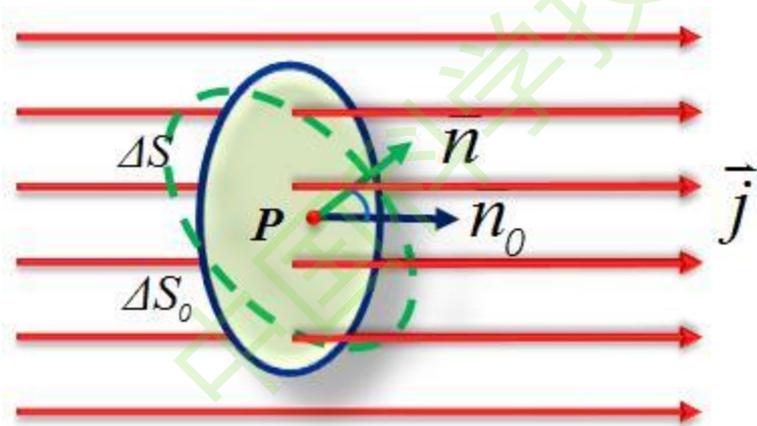
电流在导体里有更细致的分布。

不同地方的电流大小和方向都不一样。

铜双绞线里的电流分布

考虑导体中的某一给定点P，在该点沿电流方向作一单位矢量 $\vec{n}_0$ ，并取一面元 $\Delta S_0$ 与 $\vec{n}_0$ 垂直，设通过的电流强度为 $\Delta I$ ，则定义P处的**电流密度**为：

$$\vec{j} = \frac{\Delta I}{\Delta S_0} \vec{n}_0$$



电流密度的单位：**安培/米<sup>2</sup>**

电流密度是空间位置的矢量函数，与电场强度类似。

“电流场”，“电流线”

