



第三章 X射线的产生 (X-ray)

学习目标

- ◆掌握：X射线的本质与特性；X射线的产生条件与装置；X射线的量与质、X射线的产生效率
- ◆熟悉：电子与物质的相互作用以及X射线的产生原理；X射线强度的空间分布
- ◆了解：X射线的发现及用途



第三章 X射线的产生 (X-ray)

本章内容：

- 第一节 X射线的发现及用途
- 第二节 X射线的本质与特征
- 第三节 X射线的产生条件及装置
- 第四节 X射线的产生原理
- 第五节 X射线的量与质
- 第六节 X射线的产生效率
- 第七节 X线强度的空间分布

第一节 X射线的发现及用途

(X-ray)



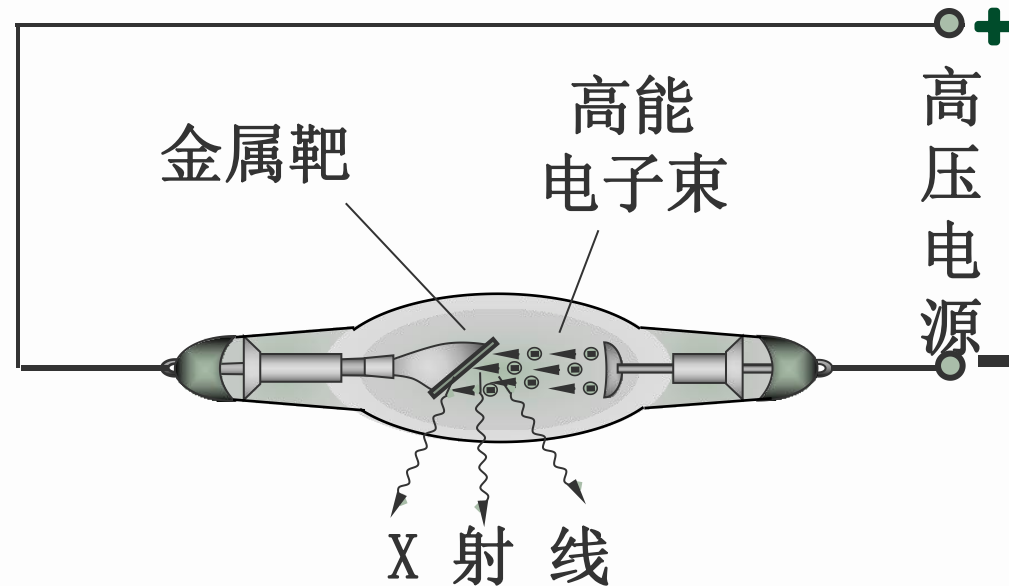
1895年

X线发现者 伦琴

伦 琴
W. K. Röntgen
(1845~1923)

1901年获首届诺贝尔物理学奖

1895年，德国物理学家伦琴在研究阴极射线管的过程中，发现了一种穿透力很强的射线。



由于未知这种射线，称为X射线。

第一张X射线照片：
伦琴夫人的手骨。



An x-ray photograph made by Roentgen at his first public lecture on his new discovery on January 23, 1896.

X射线在医学中的应用：

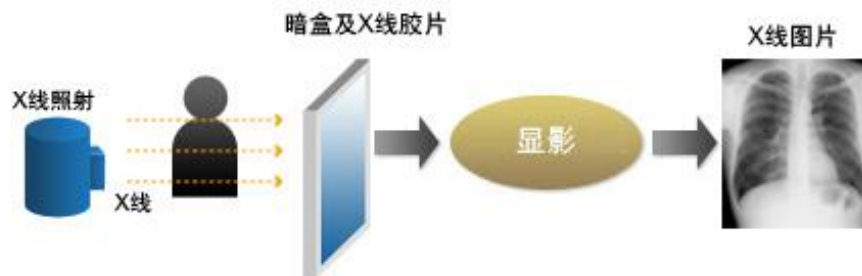
透视、摄影、X-CT、治疗等。



X射线在医学中的应用

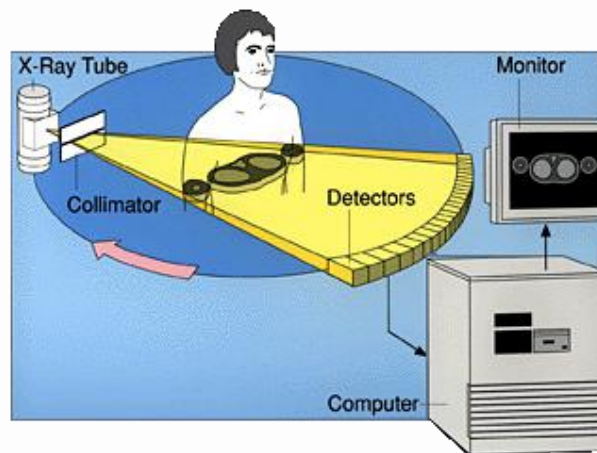
X 射线摄影

X 射线透视



骨骼和肌肉对X线的吸收存在着差异，使得胶片接收到的X线量也不相同。

X线计算机体层成像（X-CT）



第二节 X射线的本质与特征

一、X射线的本质

X线是从原子内部发射出来的频率很高
($3 \times 10^{16} \sim 3 \times 10^{20} \text{Hz}$)
波长很短($0.001 \sim 10 \text{nm}$)
的高能量的光子流

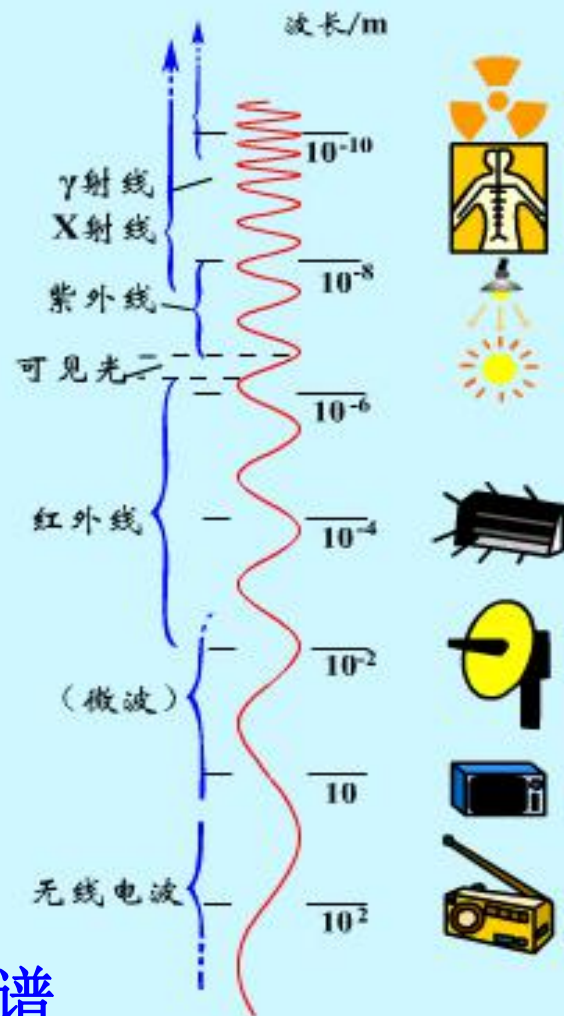
X线是电磁波，具有
电磁波的共同特性

波动性（传播时）

粒子性（与物质相互作用时）

x射线具有波粒二象性

电磁波谱

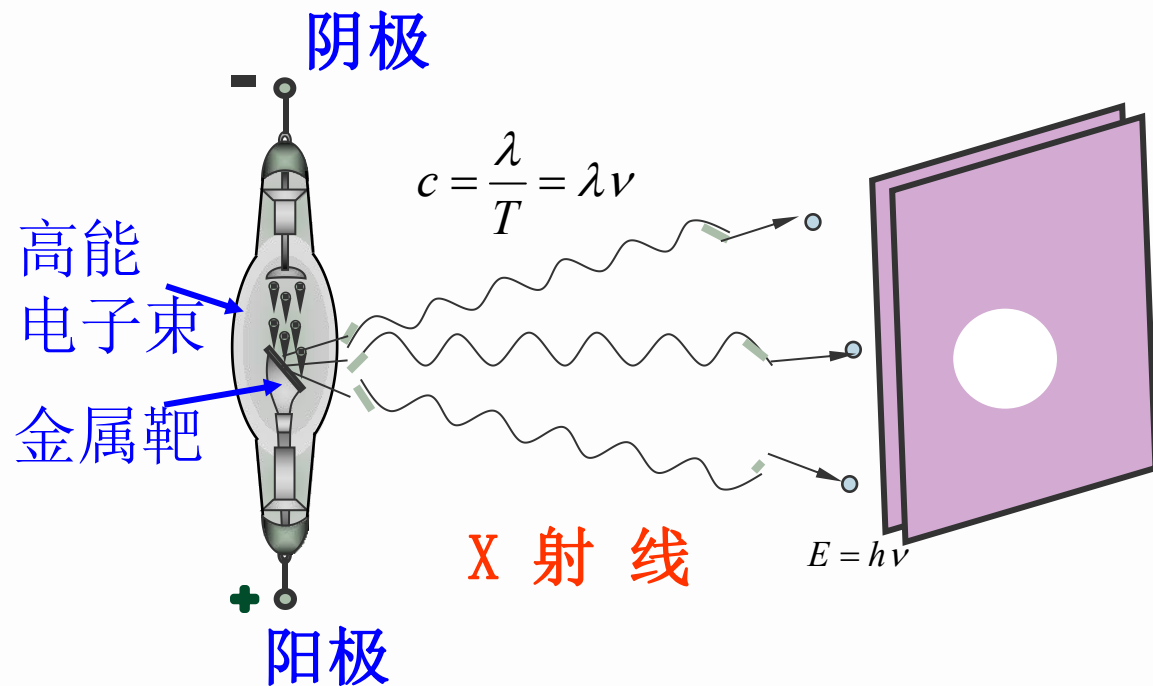




(一)x射线具有波动性

具有衍射、偏振、反射、折射等现象 是横波

(二)x射线具有粒子性 光电效应、荧光作用、电离作用



X光子的能量 $E = h\nu$

$$E = mc^2$$

X光子的质量 $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$

X光子的动量

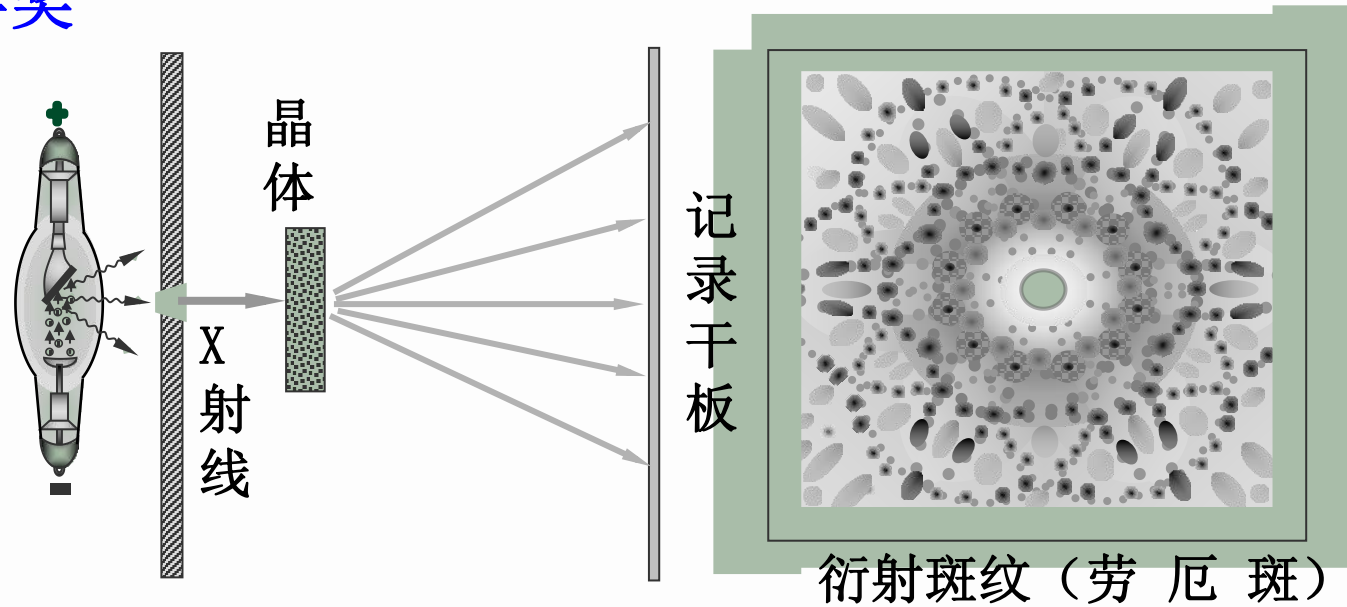
$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = h\tilde{\nu}$$

$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda}$ 为波数

(三)x射线具有波粒二象性

(1). X射线衍射

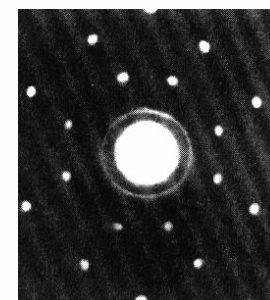
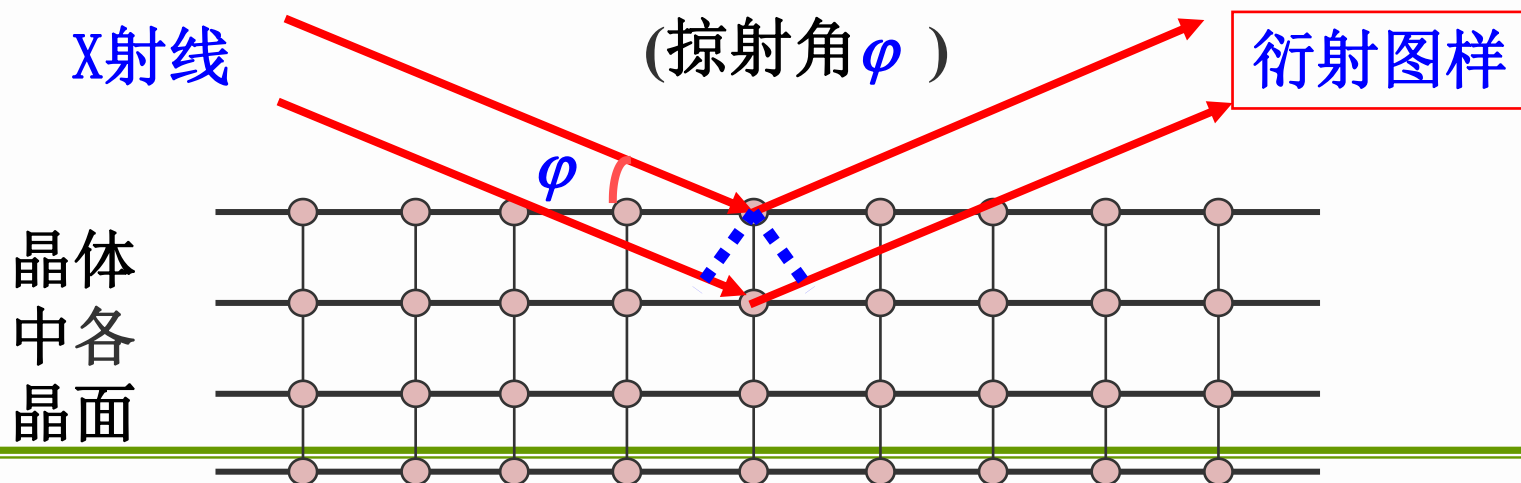
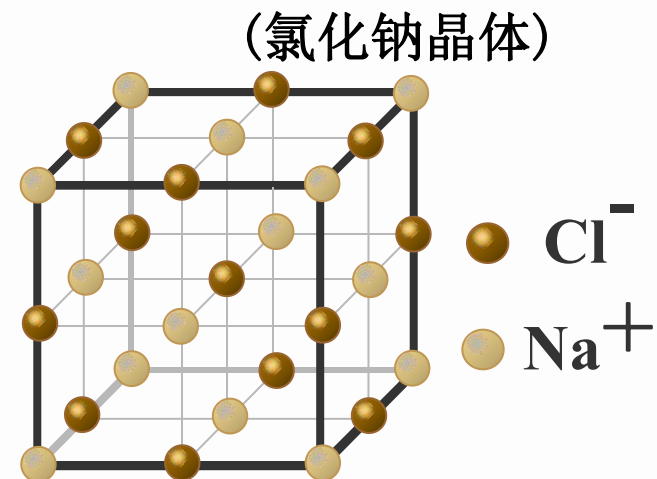
X射线发现17年后，于1912年，德国物理学家劳厄找到了X射线具有波动本性的最有力的实验证据：发现并记录了 X 射线通过晶体时发生的衍射现象。1914年获诺贝尔物理学奖



劳厄的X射线衍射实验原理图

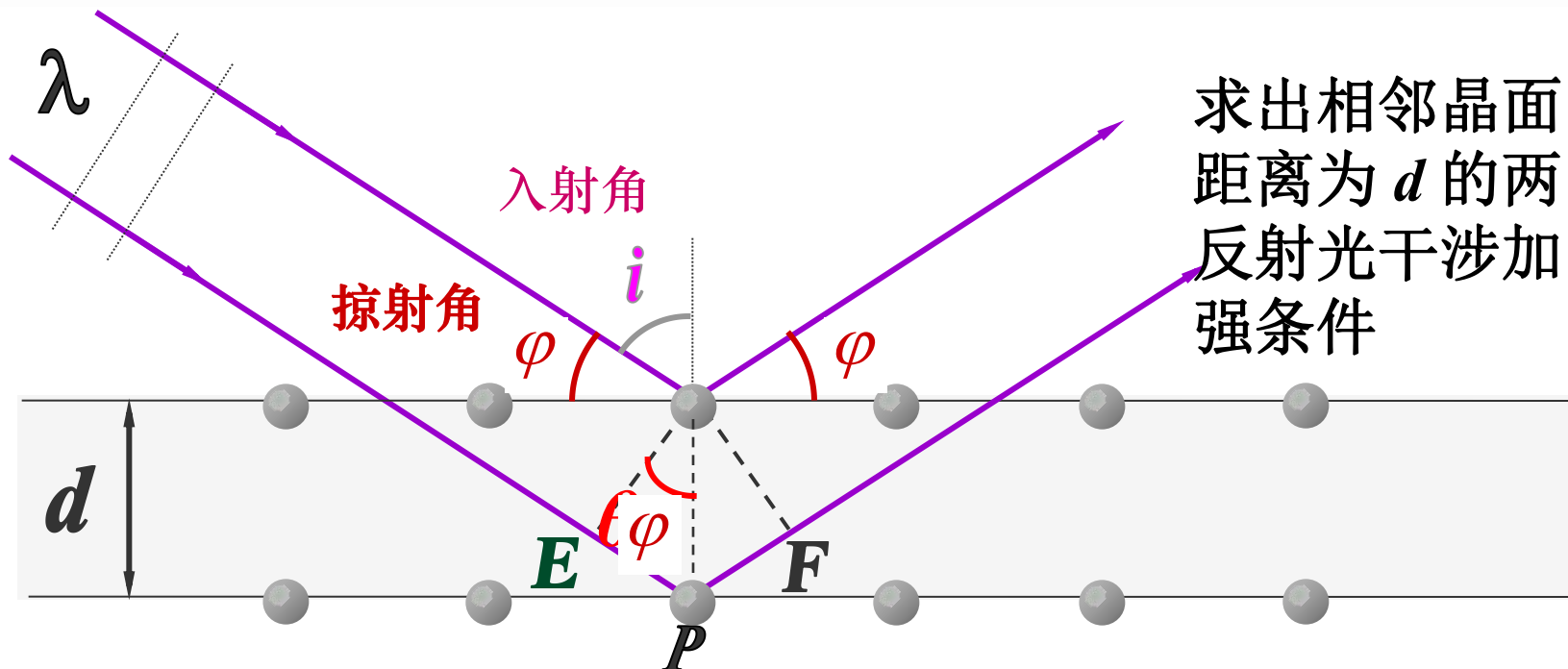
晶体结构点阵

晶体中原子有规律排列的结构可看成是光栅。原子的线度和间距大约为 10^{-10}m 数量级，与入射X射线的波长相当或更小些，相邻晶面原子的反射线发生干涉，就可能获得衍射现象



布拉格方程

Bragg equation



求出相邻晶面
距离为 d 的两
反射光干涉加
强条件

面层间两反
射光光程差

$$\delta = \overline{EP} + \overline{PF} = 2d \cos i = 2d \sin \varphi$$

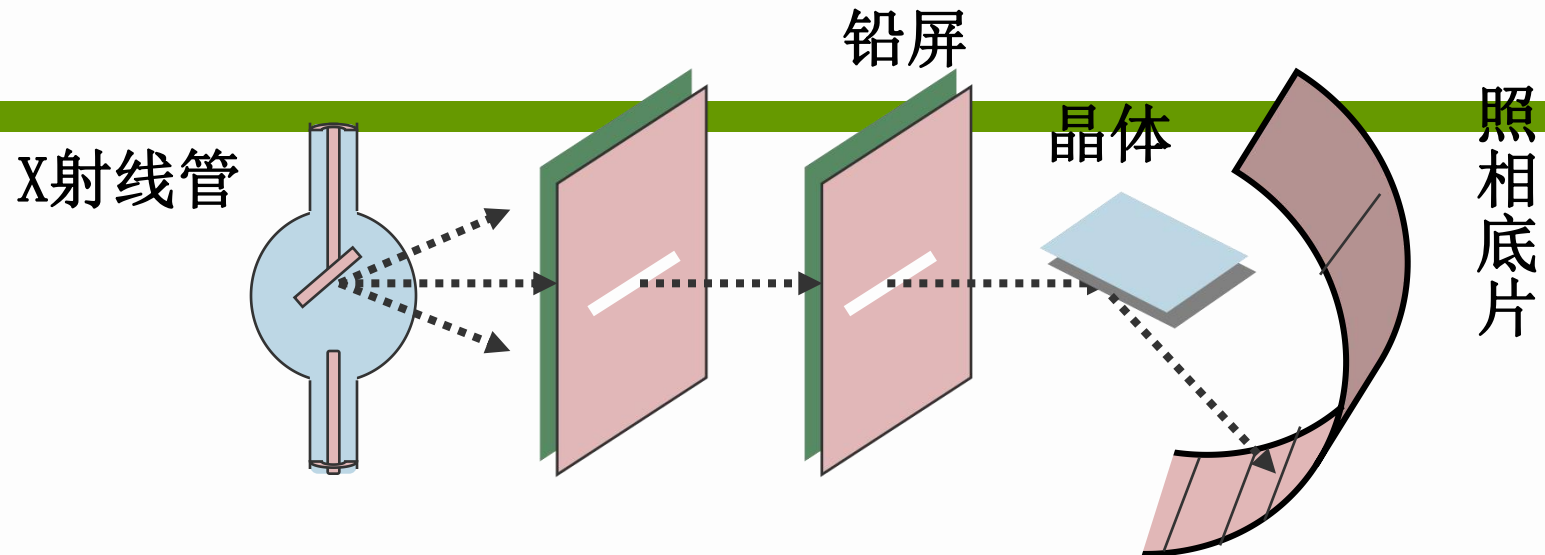
干涉加强得
亮点的条件

$$2d \sin \varphi = k\lambda$$

($k = 1, 2, \dots$)

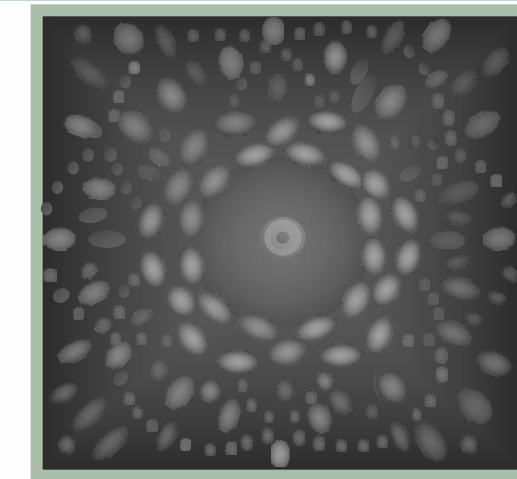
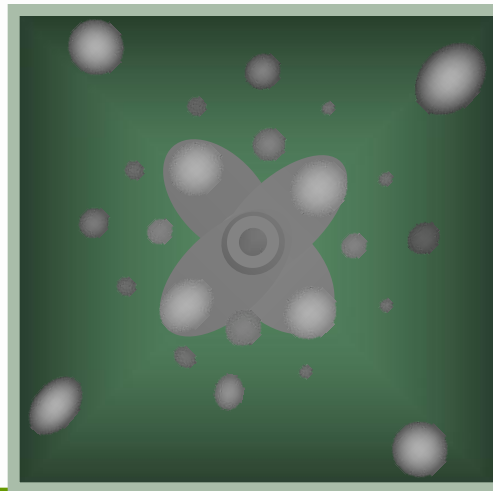
布拉格定律
或布拉格方程

X射线摄谱仪原理图



X射线的衍射图样:

NaCl单晶X射线
衍射斑点

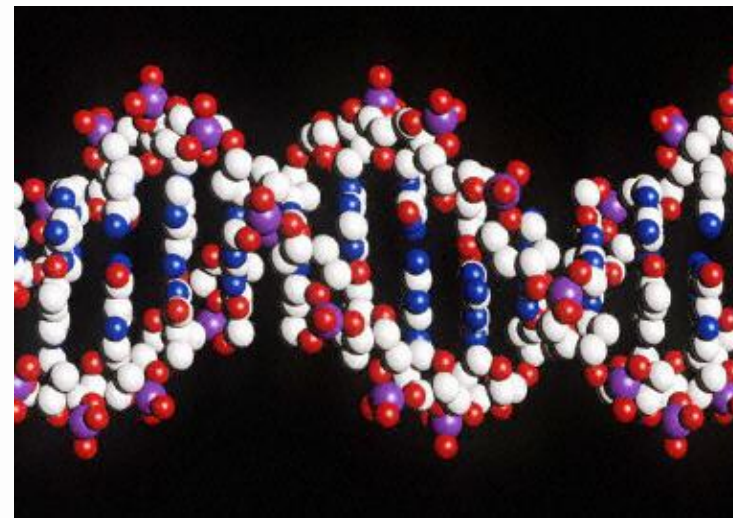
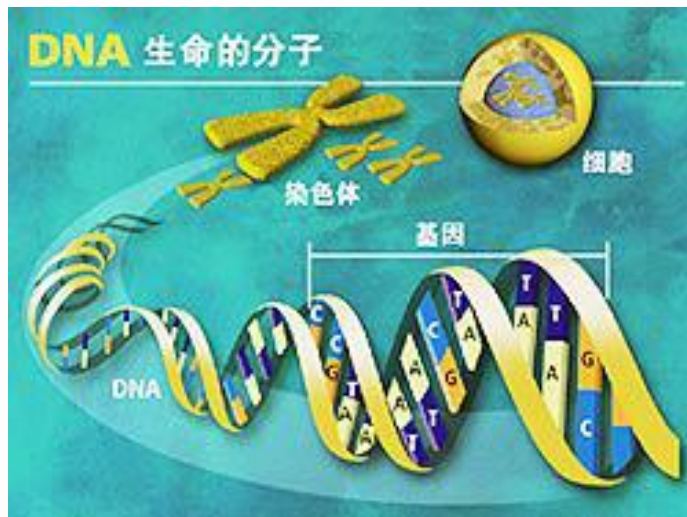


石英的X射线衍射斑点



X射线衍射的重要应用举例

脱氧核糖核酸(DNA分子)的双螺旋结构模式



1953年，美国科学家沃森（J. D. Watson, 1928-）和英国科学家克里克（F. Crick, 1916-）提出DNA双螺旋结构；1962年获诺贝尔医学和生理学奖



二、X射线的基本特性

物理效应：

1. 贯穿本领：射线能够**穿透**物质
2. 荧光作用：射线照射使物质发出荧光，在医学上用于**透视**
3. 电离作用：射线使物质原子、分子发生电离。**测量**
X射线的基础

化学效应：射线使多种物质发生光化学反应，使照相底片感光。X射线摄影的基础

生物效应：射线照射使生物体发生电离和激发，引起一系列生理、病理变化。放射治疗。同时要注重防护射线

第三节 X射线的产生条件及装置

一. X射线的产生条件

当高速带电粒子撞击物质受阻而突然减速时都能产生X射线

X射线产生的三个基本条件:

- 1). 电子源 提供足够数量的电子
- 2). 高速运动的电子流 高电压 强电场 动能 高真空度
- 3). 阻止电子运动的适当的障碍物(靶)

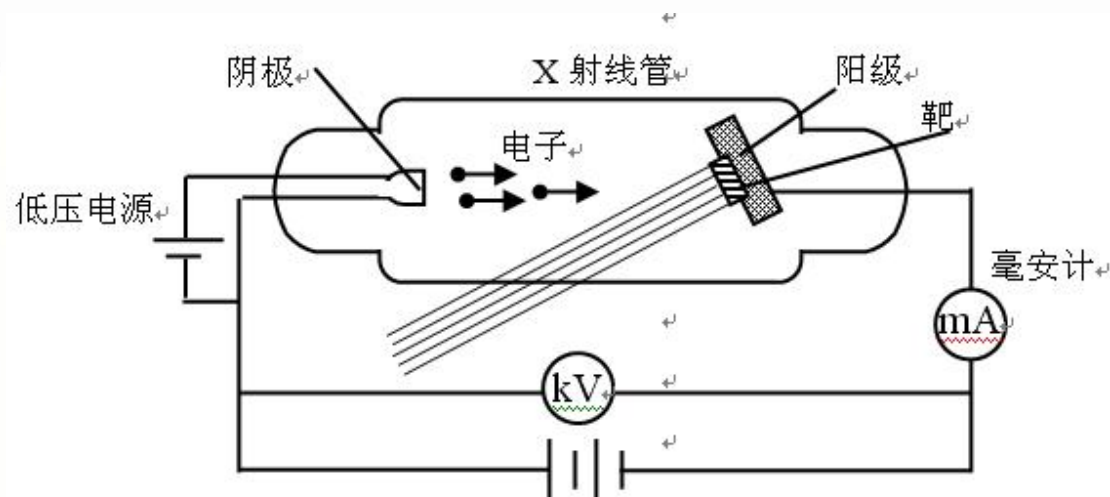
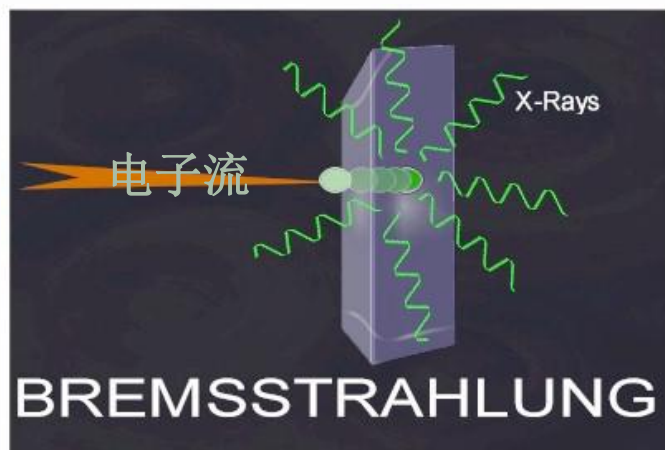


图 3.2 X射线产生装置

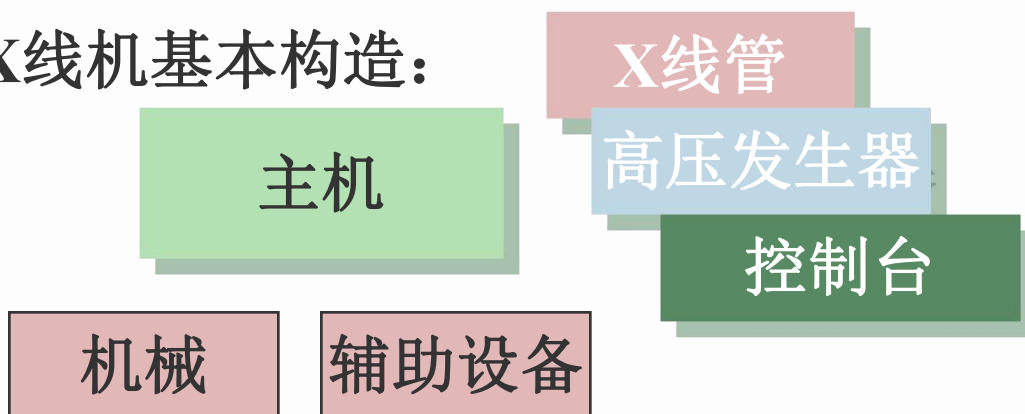
二. X射线的产生装置

1. X射机：能够将电能转变成X线能的换能装置

电能 → X线能

1). X线机分类 { 诊断机 用于透视、摄影和各种特殊检查
治疗机 用于产疾病治疗

2). X线机基本构造:



二. X射线的产生装置

2.X线管

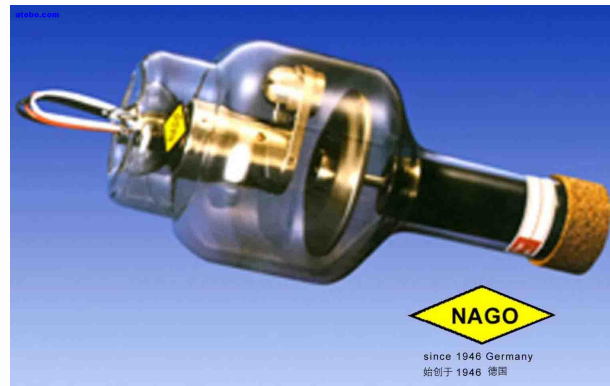
1).X线管分类

按焦点分 { 单焦点
双焦点
微焦点

按阳极是否转动分 {

固定阳极

旋转阳极



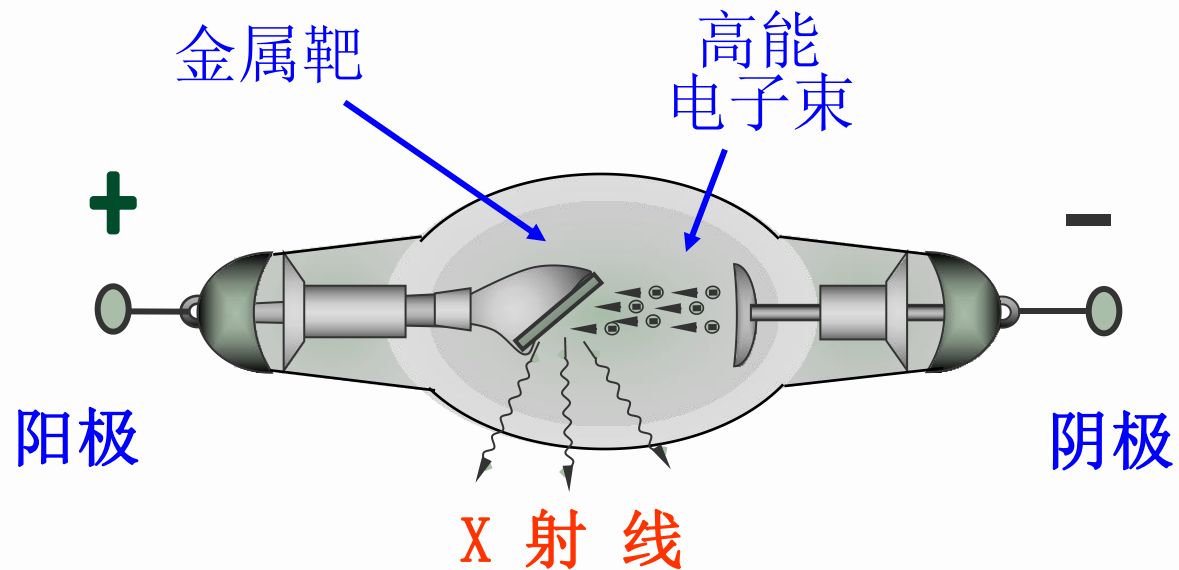
二. X射线的产生装置

2) X射线管的构造:

外壳: 硬质玻璃管, 高真空

阴极: 电子源, 发射电子流 (钨丝)

阳极: 靶, 受高速电子轰击而辐射X射线

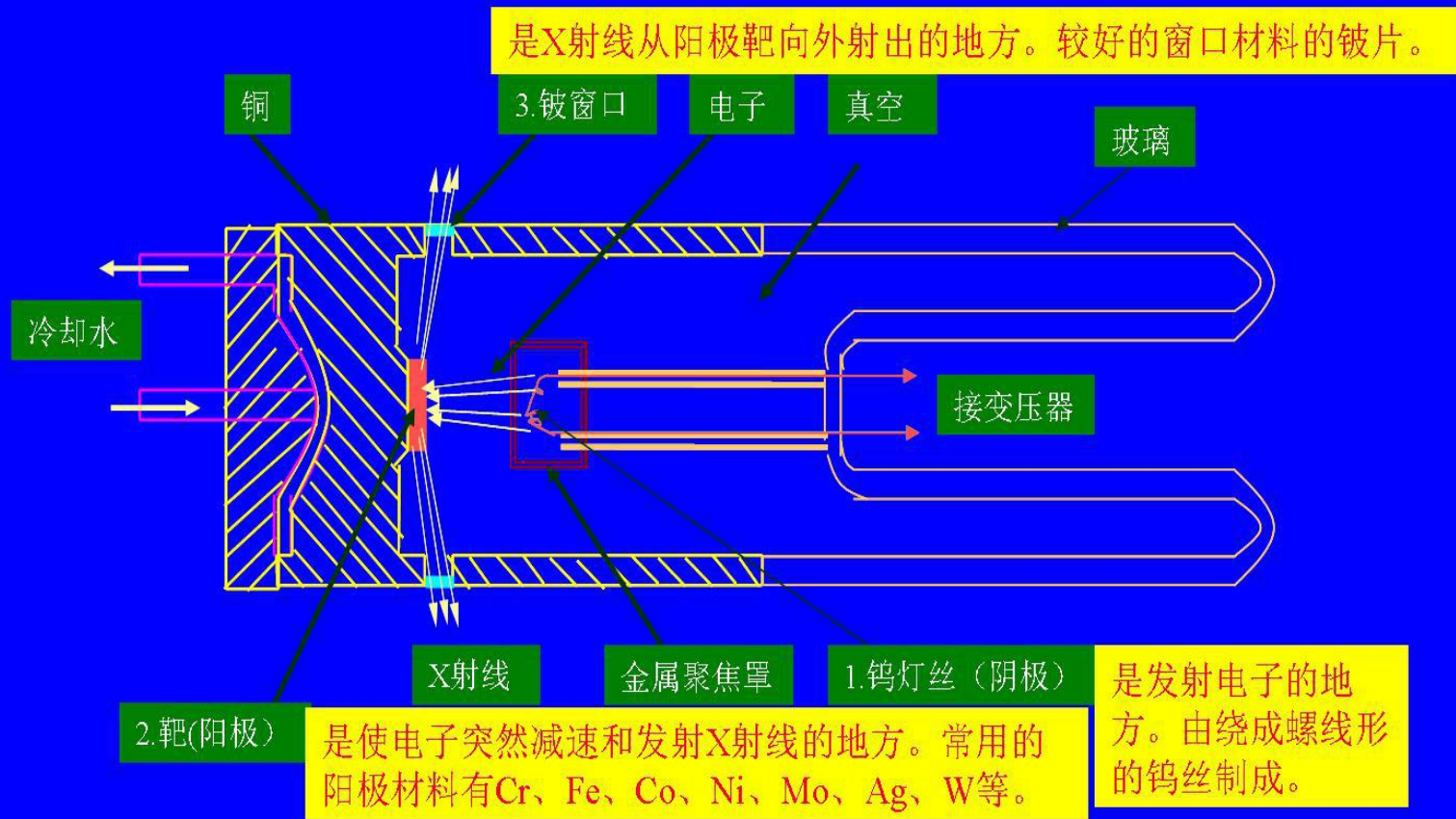




二. X射线的产生装置



二. X射线的产生装置



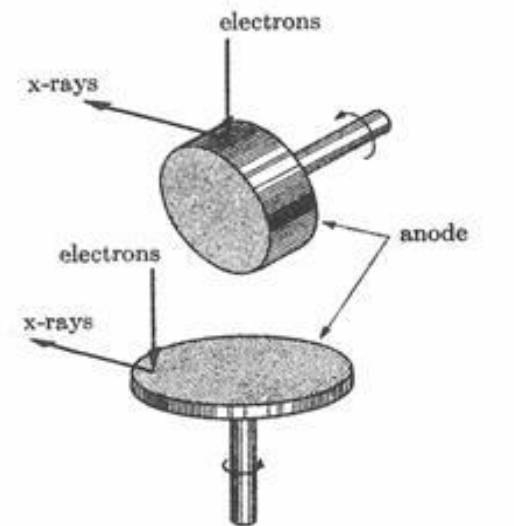
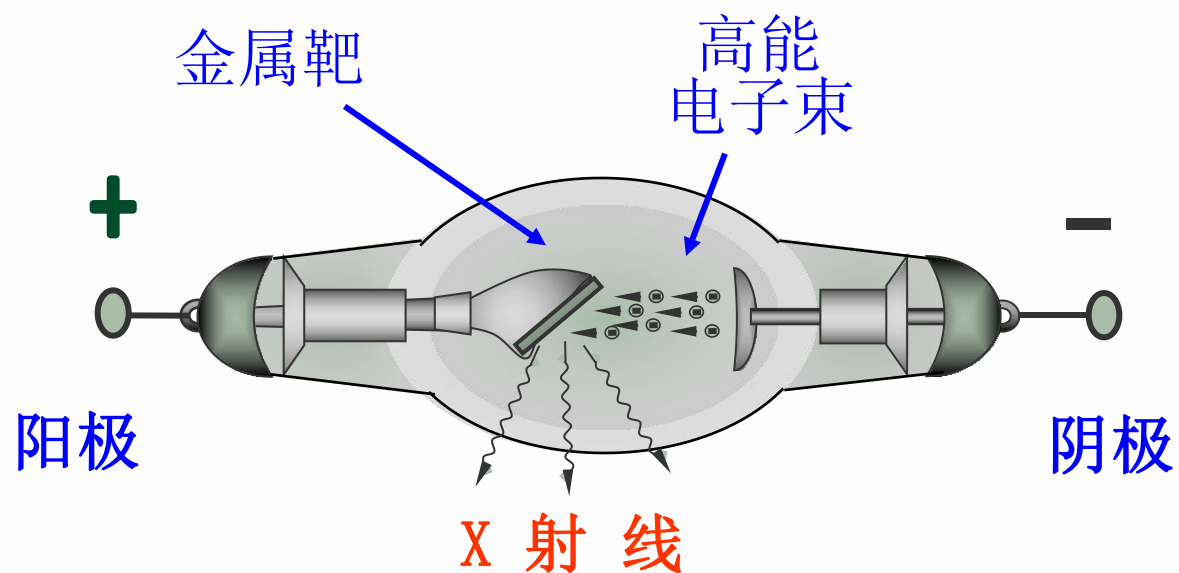
二. X射线的产生装置

2) X射线管的构造:

外壳: 硬质玻璃管, 高真空

阴极: 电子源, 发射电子流 (钨丝)

阳极: 靶, 受高速电子轰击而辐射X射线

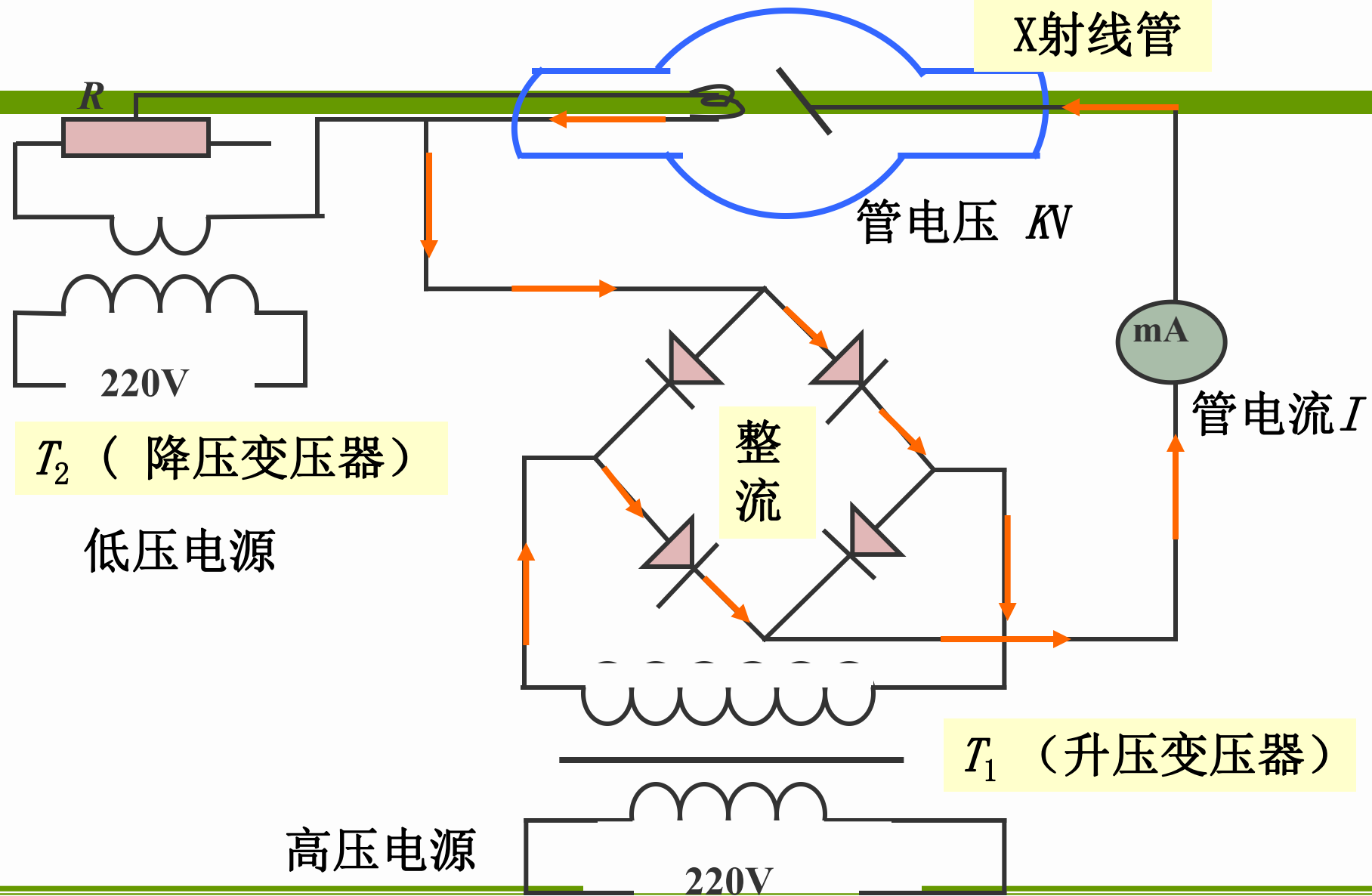


Schematic drawings of two types of rotating anode for high-power x-ray tubes.



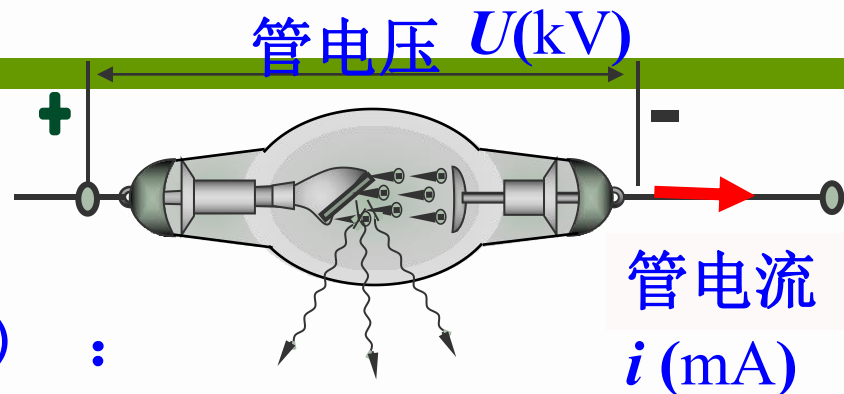


3. X射线机的基本线路:



X射线管电流 i :

X射线管电压 U :



(1) 低压电源与管电流 i (m A) :

T_2 降压 $\rightarrow R \rightarrow$ 灯丝电流 $\rightarrow$ 热电子数量 $\rightarrow$ 管电流 $i(\text{mA})$

(2) 高压电源与管电压 $U(\text{kV})$:

T_1 升压 $\rightarrow$ 整流 $\rightarrow$ X管直流高压 $U(\text{kV}) \rightarrow$ 电子获得高速
(管电压 $U(\text{kV}_p)$ ---峰值管电压)

(3) X射线管与X射线的产生:

高速电子撞击靶 $\rightarrow$ 产生热能 ($>99\%$) 和X线能 ($<1\%$)

要求:靶物质 $\rightarrow$ 熔点高且易散热、原子序数 (Z) 大