

ANCOREN



RAY FLUORESCENCE

X 射线荧光原理

X 射线的起源



德国物理学家威廉·康拉德·伦琴

1895 年德国物理学家威廉·康拉德·伦琴研究阴极射线管时，发现阴极能放出一种有穿透力的、肉眼看不见的射线。由于它的本质在当时是一个“未知数”，故称之为 X 射线。

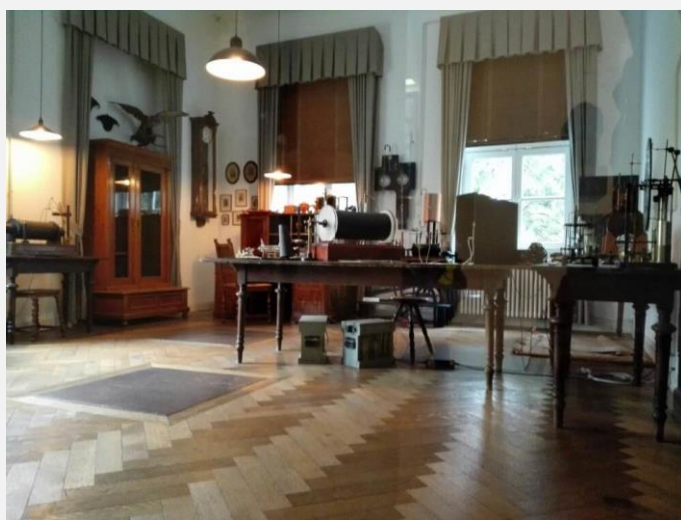
伦琴无条件地把 X 射线的发现奉献给人类，没有申请专利。

X 射线和可见光一样属于电磁辐射，但其波长比可见光短得多，在 $10^{-6} \sim 10^{-10}$ nm。在 X 射线光谱法常用波长在 $0.01 \sim 2.5$ nm。

1895-1897 年伦琴搞清楚了 X 射线的产生、传播、穿透力等大部分性质，为 X 射线荧光分析方法奠定了基础，1901 年诺贝尔奖第一次颁发，伦琴就由于发现 X 射线而获得了这一年的物理学奖。



世界上第一张 X 光照片是德国物理学家伦琴拍摄的他夫人的手



伦琴纪念馆坐落在德国维尔兹堡大学的一角

X 射线的本质

X 射线的本质是电磁辐射，具有波粒二像性。

1) 波动性

X 射线的波长范围：0.01~100 Å

用于元素分析的 X 射线光谱所使用的波长范围在 0.01~11nm

2) 粒子性

特征表现为以光子形式辐射和吸收时具有的一定的质量、能量和动量。

表现形式为在与物质相互作用时交换能量。如光电效应、荧光辐射等。

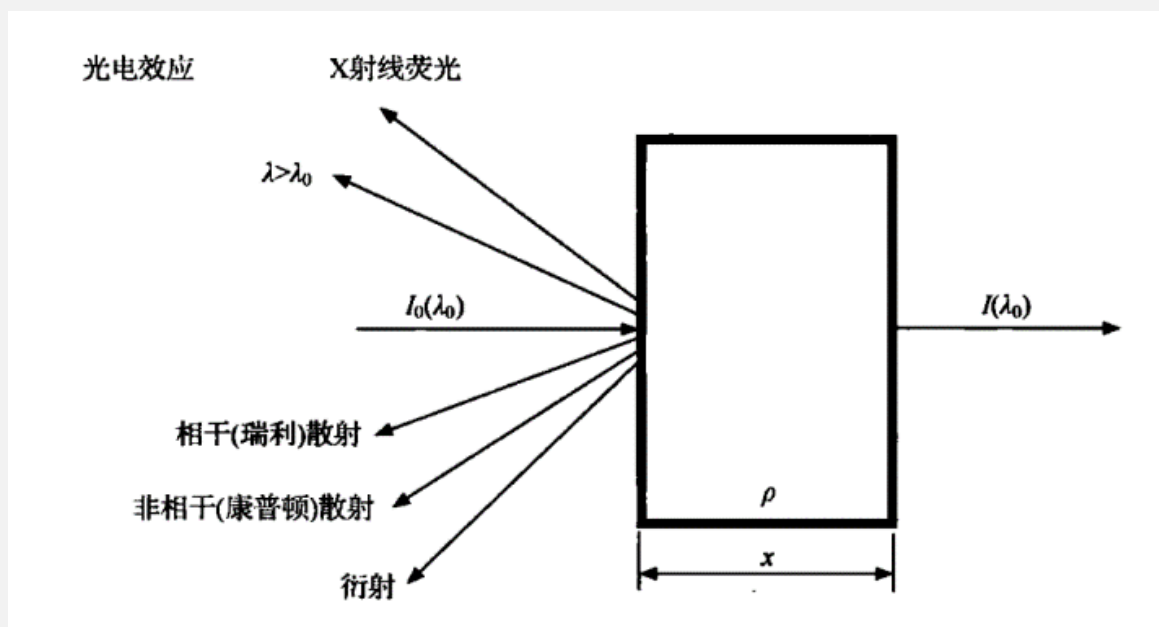
X 射线的产生

高速运动的电子与物体碰撞时，发生能量转换，电子的运动受阻失去动能，其中一小部分（1%左右）能量转变为 X 射线，而绝大部分（99%左右）能量转变成热能使物体温度升高。

产生 X 射线源有同位素放射源、X 射线管、激光等离子体、同步辐射和 X 射线激光等。

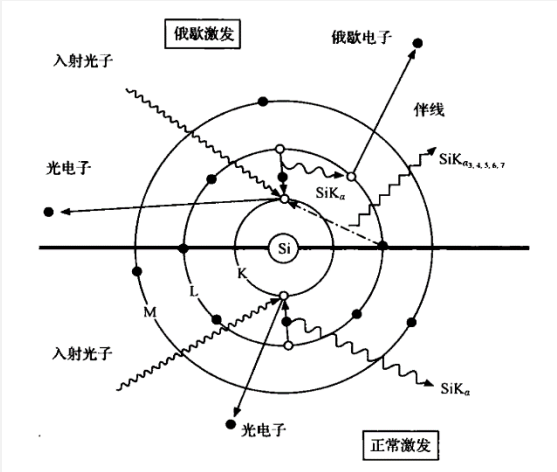
X 射线与物质的相互作用

主要概括为四种类型：因光电效应产生的 X 射线荧光、康普顿散射、瑞利散射和吸收。

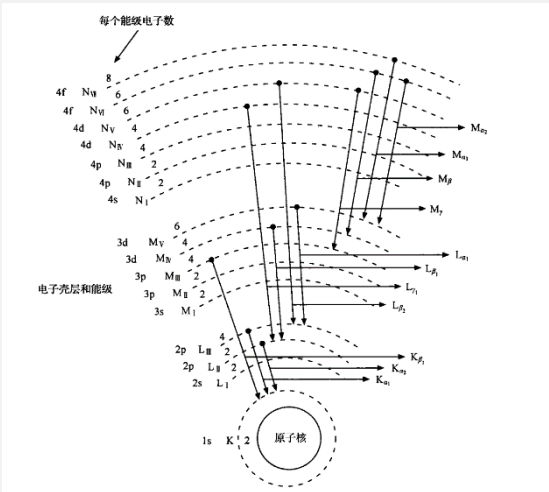


1) X 射线荧光的产生

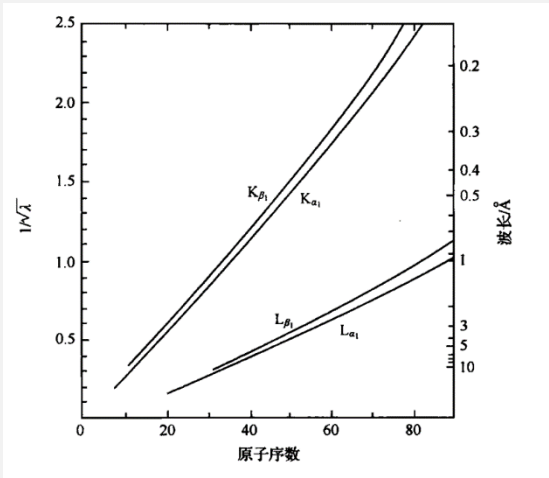
当一束粒子如 X 射线光子与一种物质的原子相互作用时，在其能量大于原子某一轨道电子的结合能时，就可从中逐出一个轨道电子而出现一个“空穴”，层中的这个“空穴”可称作空位。原子要恢复到原来的稳定状态，这时处于较高能级的电子将依据一定的规则跃迁而填补该“空穴”，这一过程将使整个原子的能量降低，因此可以自发进行。这种跃迁将导致如下几种情况产生：



- (1) 两个壳层之间的能量差以 X 射线光子的形式发射出原子，该 X 射线光子的波长与原子的原子序数有关，且其波长大于入射 X 射线波长，称作 X 射线荧光。
- (2) 所产生的 X 射线荧光没有发射出原子，而是将原子中另一电子逐出原子，形成具有双空穴的原子，这一电子称作俄歇电子。



早期人们在用 X 射线在轰击阳极靶而产生 X 射线的时候，就发现，有几个高强度 X 射线，并没有随着加速电子的高压变化而变化，而是在使用不同的靶材之时，其 X 射线能量会发生变化，后称之为特征 X 射线，每种元素都有他特有的特征 X 射线。以 W 原子为例，核外电子壳层能级、每个壳层电子数及发射 La1、Ka1 和 Ma1 特征谱线如左图。



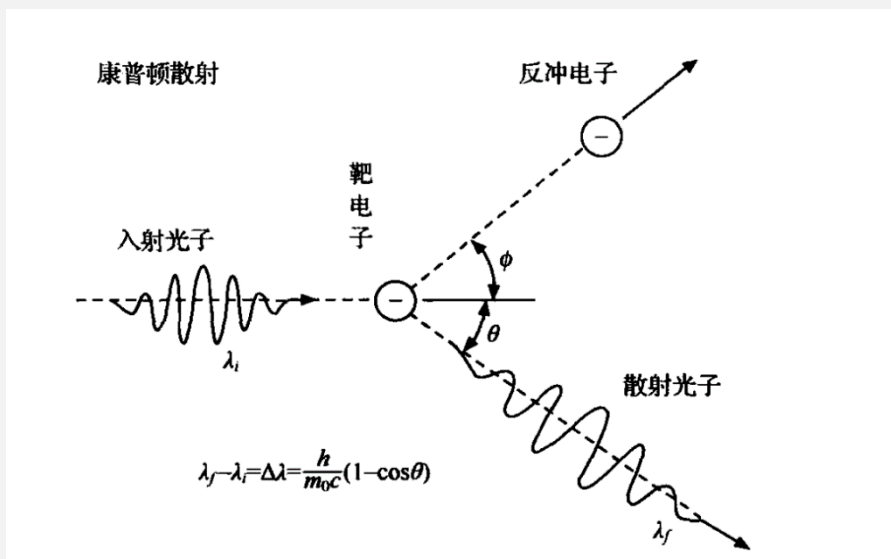
莫塞莱发现了 X 射线能量和原子序数的关系，公式为 $\sqrt{v} = Q(Z - \sigma)$ 。这个公式被称为莫塞莱公式。莫塞来定律为 X 射线光谱定性分析奠定了基础，表明 X 射线的特征谱给人们提供了一种识别新元素的可靠方法——X 射线分析法。

2) X 射线在物质中的散射

X 射线在物质中的散射现象，可主要分为两种形式：

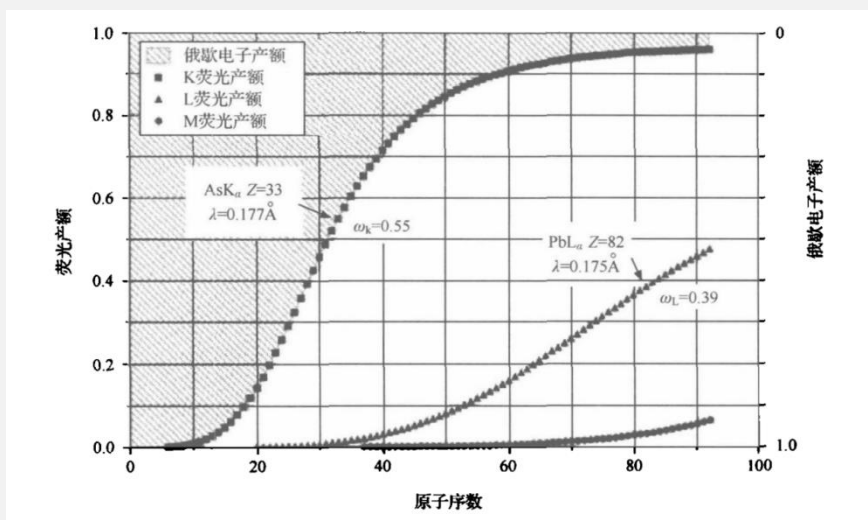
- (1) 不变质散射（弹性散射，瑞利散射），入射 X 射线波长不发生变化；
- (2) 变质散射（非弹性，康普顿散射），入射 X 射线波长发生变化。

原子周围的核外电子，越内层电子与原子核结合的越紧密。光子与内层电子发生碰撞，无法撞动内层电子，固本身的频率波长没有发生变化，称为瑞利散射。光子与外层电子发生碰撞，电子被撞动，光子波长频率发生改变，称为康普顿散射。



荧光产额

当一束能量足够大的 X 射线光子与一种物质的原子相互作用时，逐出一个轨道电子而出现一个空穴，所产生的空穴并非均能产生特征 X 射线，还会产生俄歇电子。产生特征 X 射线跃迁的概率就是荧光产额，俄歇跃迁的概率成俄歇产额。



X 射线荧光光谱法

X 射线荧光光谱法正是基于以上物理学原理而产生的，从 X 射线管产生 X 射线，X 射线经过滤或单色化处理入射样品，入射样品 X 射线与物质相互作用，产生的元素特征 X 射线荧光，进入探测器记录其强度，能量色散型探测器的各种效应。都有可以遵循的 X 射线荧光的物理学理论，而这些明确的物理学理论，有大量的规律可循，进而可以建立理论数据库，譬如基本参数库等，也可以将明确的物理学现象数学模型化，利用软件技术，形成针对 X 射线荧光整个物理过程强大的计算软件。

这也是当前 X 射线荧光领域研究的热点：基本参数法。

原创声明：本文除注明引用之外属于安科慧生（Ancoren）公司原创，若有转发和引用，必须注明出处，
否则可能涉及侵权行为！

更详细技术信息，请咨询安科慧生工作人员！