



上海仁机仪器仪表有限公司—核检测仪器制造商—www.radtek.cn 021-61649690

上海仁机仪器仪表有限公司

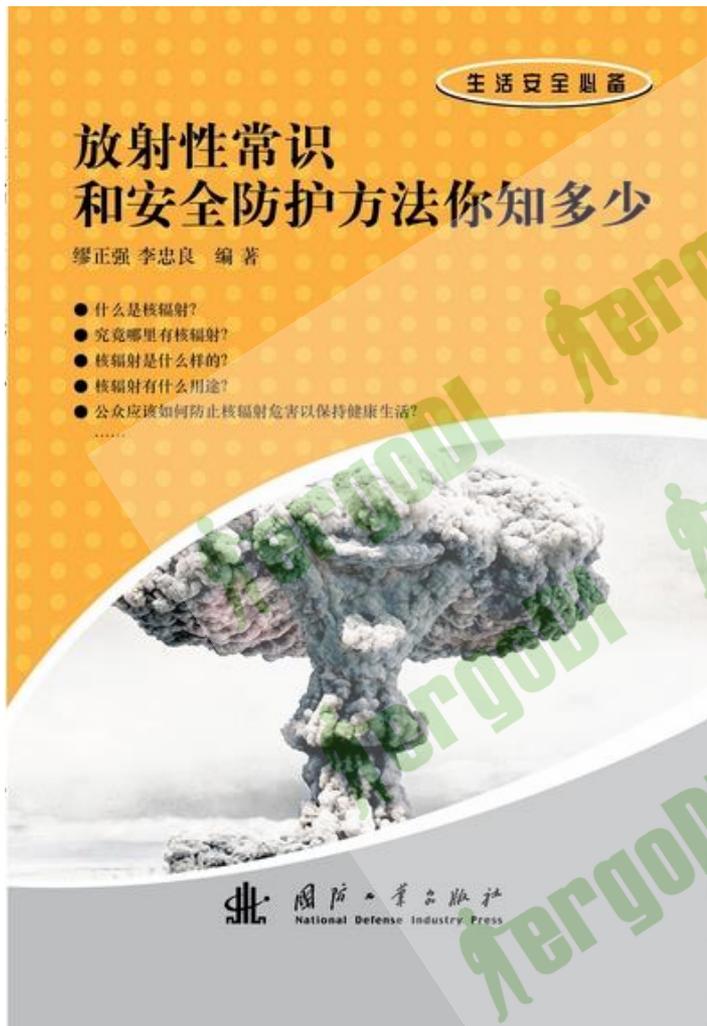
ShangHai Ergonomics Detecting Instrument CO.,LTD

放射性及检测常识

李忠良



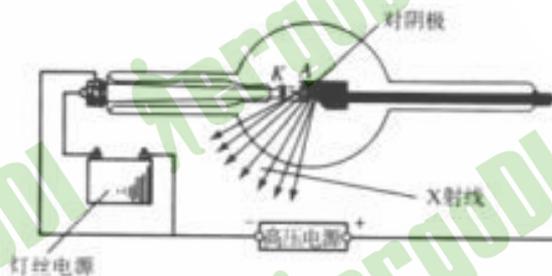
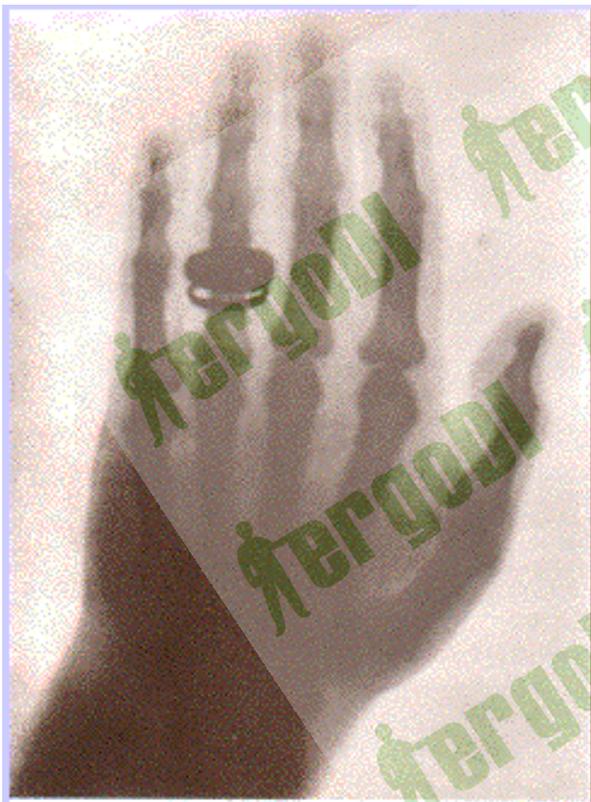
放射性检测设备专业厂商



目 录

- 什么是放射性
- 放射性物质的存在及影响
- 核辐射跟物质相互作用
- 放射性的应用

什么是放射性？

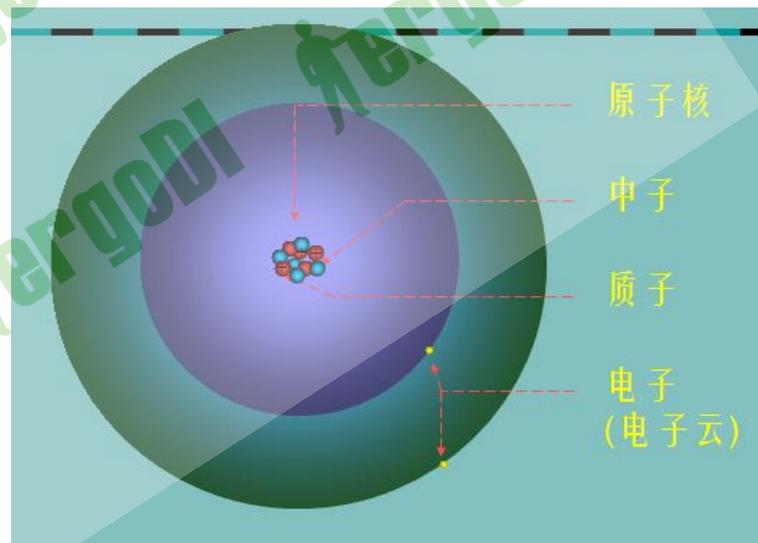


1895年，德国科学家伦琴第一次观察到X射线超乎寻常的穿透本领。兴奋异常的伦琴，用他夫人的手，拍摄了人类历史上的第一张X射线照片。该发现除了为人类医学发展做出了伟大的贡献外，还引导了放射性、电子、以及 α 、 β 射线的发现。

原子及原子核

在1895年、1896年和1897年，近代科学史上发生了三件非常重要的事，他们分别是X射线、放射性和电子的发现，这也揭开了近代物理的序幕，也使人类进入到原子物理的世界。人们意识到，世界万物是由原子构成的，每一种原子对应一种化学元素，它成为了构成这些元素的最基本单元。

1911年，著名法国科学家卢瑟福做了一次名叫“ α 粒子散射”的实验，并根据实验结果提出原子的核式模型的假设，经过几代科学家们的不断探索和总结，最终形成了目前大家都比较认可的原子核结构。



原子及原子核

中子和质子的质量相差非常小，可以近似用 $1u$ 来表示， u 为原子质量单位。1960年国际上规定把碳-12 (^{12}C) 原子质量的 $1/12$ 定义为原子质量单位，用 u 表示 $1u=1.6605402 \pm 0.0000010 \times 10^{-27}\text{kg}$ 。

| 名称 | 科学符号 | 电荷 | 质量(u) | 会不会被电荷吸引或者排斥？ |
|----|------|----|--------|---------------|
| 电子 | e | -1 | 1/1836 | 被正电荷吸引，被负电荷排斥 |
| 质子 | p | 1 | 1 | 被正电荷排斥，被负电荷吸引 |
| 中子 | n | 0 | 1.0007 | 既不吸引，也不排斥 |

原子及原子核

原子的大小跟它的原子核包含的核子数（质子数与中子数之和）有关，原子的核子数越大，半径也就越大。原子直径的数量级大约是 10^{-10}m ，原子核的尺寸更小，大约只有原子尺寸的万分之一。原子核尺寸极小，但却集中了原子几乎全部质量，计算原子核的密度，会发现这是一个惊人的数值。

$$\text{氢原子核密度} = \frac{\text{质子的质量}}{\text{氢原子核的体积}} = \frac{1.67 \times 10^{-27} \text{ 千克}}{\frac{4}{3} \times \pi \times (1.2 \times 10^{-13})^3} \approx 1 \times 10^9 \text{ 吨/立方厘米}$$

形象一些的比喻：如果地球密度突然变得跟原子核密度一样，那么地球就会缩成只有乒乓球大小。

元素及同位素

质子数相同的原子称为元素。元素化学性质由原子核质子的个数决定，跟原子核内中子没有关系。因此，在化学家眼里，中子增加了一种元素原子的质量，却不会影响元素的化合性质。但在物理学家眼里，却丝毫不能忽略中子的存在，正是因为中子的存在，才有了核技术和核能的利用。

质子数相同，中子数不同的原子称为同位素。



原子核的稳定性

一种元素可能有几种甚至十几种同位素，有的是稳定的同位素，有的不稳定，不同元素的每一种位素以及同一种元素各个同位素都是不同的核素。

例如福岛核事故发生后，放射性物质泄漏引起了很大恐慌。那些放射性物质的主要成分是碘的一种同位素，碘-131。食用碘盐中含有的碘是一种稳定的碘同位素碘-122。核事故中释放的碘-131原子核不稳定，可以发生衰变，在衰变过程中放出射线。衰变过程可以表示为：

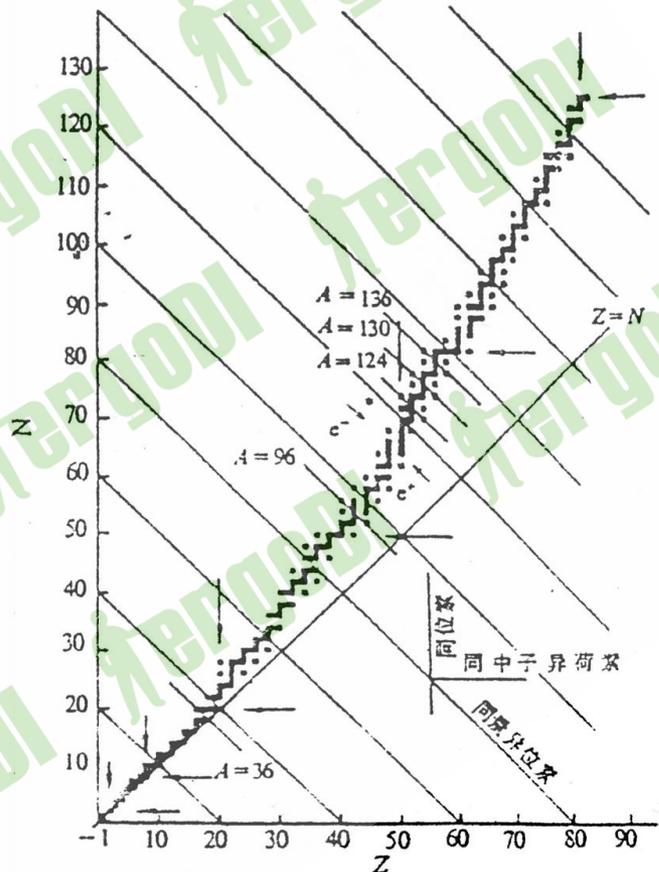


100年前居里夫人发现的一种新元素镭Ra，也是不稳定的。



原子核的稳定性

相对于稳定曲线（质子数和中子数相等的线）而言，中子数过多或偏少都是不稳定的。位于稳定曲线偏N增大的区域的核素是丰中子核素，易发生 β^- 衰变，位于稳定曲线偏Z增大的区域的核素是缺中子核素，易发生 β^+ 衰变。在核素图上，既包括了天然存在的332个核素（其中280多个是稳定核素），也包括了自1934年以来人工制造的1600多个放射性核素，一共约2000个核素。



β 稳定核素分布图

放射性与射线

放射性指某种物质或者某种原子核能够放出射线的性质。放射性跟核衰变的有密切关系。物质之所有会有放射性，是因为它所包含的不稳定的原子核发生了核衰变，在衰变过程中有射线产生。

射线指核衰变过程中发出的有很高能量的粒子。比如 β 射线（也叫 β 粒子），射线（光子，粒子），射线粒子等。

“射线”有时也叫做“**核辐射**”。可见“核辐射”是由放射性物质发射的。核辐射的种类很多，常见的有 β 射线， α 射线， γ 射线，中子射线，X射线等。

| 射线类型 | 是质子质量的倍数 | 电荷 | 穿透空气的情况 | 穿透人体的情况 |
|-------------|----------|-------|---------|---------|
| α | 4 | +2 | | |
| β | 1/1840 | -1或+1 | | |
| γ 和X | 0 | 0 | 很大 | 可能穿透 |
| 快中子 | 1 | 0 | 很大 | 可能穿透 |
| 热中子 | 1 | 0 | 很大 | |

放射性与射线



不同射线的穿透能力

放射性与射线

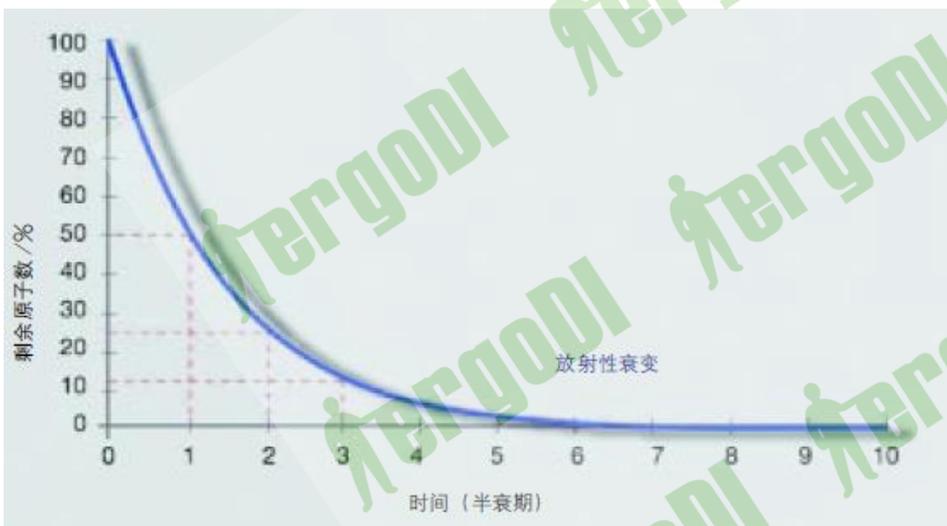
γ 射线和X射线都是一定能量范围的电磁辐射，又被称为光子辐射。它们的性质类似于无线电波、可见光等，只是波长不相同

| 辐射类型 | 波长(m) |
|--------------------|-----------------------|
| 无线电波，英国广播公司无线电 | 1500 |
| 无线电波，高频频带 | 3 |
| 可见光 | 10^{-6} - 10^{-7} |
| X射线，能量50MeV | 2.5×10^{-11} |
| γ 射线，能量1MeV | 1.2×10^{-12} |

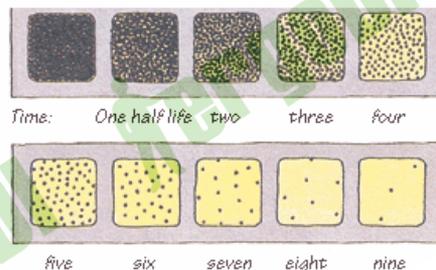
γ 射线和X射线的根本区别是来源不同， γ 射线来源于原子核本身高激发态向低激发态（或基态）的跃迁或粒子的湮灭辐射，而X射线来源于核外电子的跃迁。它们具有非常强的穿透能力，只有很厚的铁或铅一类的高密度物质才能阻挡他们。

放射性的量

半衰期：“半”就是指衰变到一半。“衰”指放射性原子核衰变。“期”指经过的时间。“半衰期”的科学定义是“放射性原子核的数目衰变到只剩下一半所经过的时间”。



Decay rate of radioactivity: After ten half lives, the level of radiation is reduced to one thousandth



指数衰减规律：

以碘-131和铯-137为例，它们的半衰期分别是8天和30年。地球的年龄约为46亿年，目前还能存在于地球上的放射性核素都只能维系在三个处于长期平衡状态的放射系中，他们分别为钍系、铀系和锕-铀系。这些放射系的第一个核素的半衰期都很长，分别为钍系 1.41×10^{10} 年，铀系 4.47×10^9 年，锕-铀系 7.04×10^8 年，这与地球的年龄相近或比它更长。

放射性的量

衰变常数 λ ：单位时间内（单一放射性物质）一个原子核发生衰变的概率，其单位为时间的倒数： s^{-1} 。对各种不同的核素来说，它们衰变的快慢各不相同， λ 越大，衰变越快，越小，衰变越慢；且用加压、加热、加电磁场、机械运动等物理或化学手段不能改变指数衰减规律，也不能改变其衰变常数，它是由原子核内部运动规律所决定的。

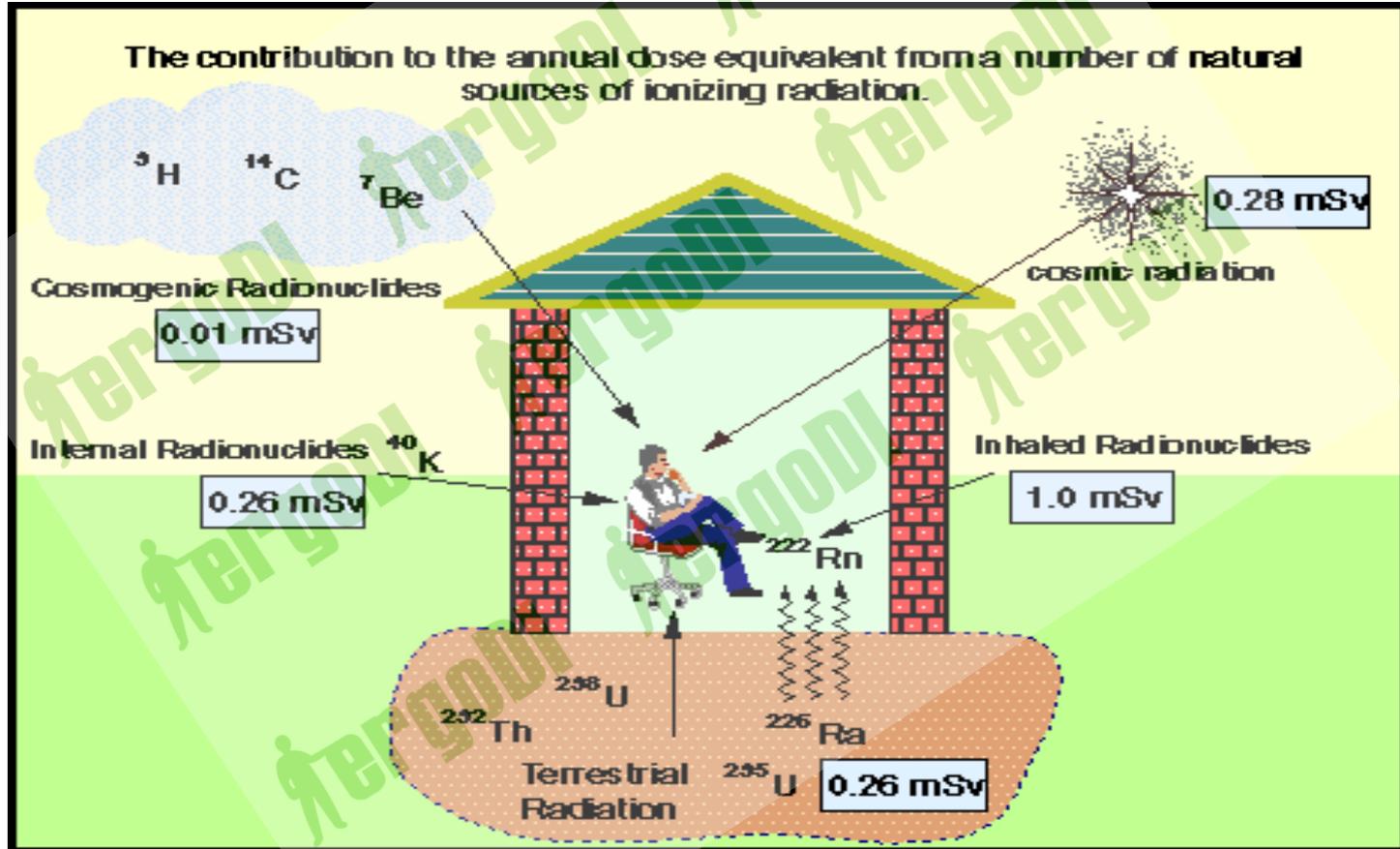
$$\lambda \approx \frac{0.693}{T}$$

放射性活度：放射性物质在1秒钟时间内发生衰变的原子个数。“放射性活度”的单位是贝克（Bq）和居里（Ci），分别为纪念发现了放射性的科学家贝克勒尔和著名的居里夫人。贝克（Bq）是放射性活度的国际单位，居里（Ci）是常用单位。

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$$

1千克土壤或者建筑材料的放射性活度大约是几百~几千贝克，而医院里治疗用的钴源的放射性活度可以达到几万居里，超过3700万亿贝克。福岛核事故后，核电厂附近每千克土壤中放射性可能达到几十万贝克，也就是说比正常值增加了成百上千倍。

放射性物质的存在及影响



放射性的分类

放射性可分成两类：一类叫做天然放射性，另一类叫做人工放射性。顾名思义，天然放射性就是天然存在的，而人工放射性是人工制造的。

天然放射性又可根据存在方式分为：宇宙射线、宇生放射性和原生放射性物质。

宇宙射线来自浩瀚的宇宙空间，有着极高的能量。它们可能是高能电子、高能质子或者其他高能粒子。

宇生放射性是宇宙射线进入地球大气层后，跟空气原子核发生碰撞后产生的放射性物质和一些诸如介子之类的新射线。宇生放射性核素包括氚 (^3H)， ^7Be 、 ^{14}C 、 ^{22}Na 、 ^{24}Na 等十几种放射性同位素。

原生放射性物质是普遍存在的。它们产生于太阳系诞生之前的某次恒星或者星系大爆炸。在地球诞生之初，这些原生放射性物质就已经存在了，当时的种类和比现在都要高许多。在经过45亿年的不断衰减之后，除了少量寿命在几亿年以上的放射性物质和它的衰变产物保存至今以外，其余都衰变成稳定物质了。

原生放射性

现存放射性核素物质包括了寿命很长放射性核素，称作“母体”。由母体衰变产生的放射性核素称为“子体”。“子体”也不断衰减，形成新的“子体”，直到变成稳定的核素。于是，由“母体”和它的多个“子体”共同构成了一个“衰变系”。天然存在的放射性物质可以分成几个“衰变系”，分别叫做“铀系”、“钍系”和“锕系”。

他们都具有长寿命的同位素，如铀-238的半衰期为 4.468×10^9 年（约45亿年），钍232的半衰期为 1.405×10^{10} 年（约141亿年），与地球的年龄（46亿年）相近，所以可在自然界中长期存在。

在“衰变系”以外，还有几种独立的放射性物质，比如钾-40，半衰期为13亿年，寿命很长也能存在至今。

在我国广大地区，每千克土壤中，镭-226的活度约为40Bq，钾-40的活度约为500~600Bq，钍-232活度为60Bq。水中放射性含量以水库水最低，温泉水中镭-226的含量较高，海水中钾-40的活度较高。这些值近能提供放射性含量的大致范围，实际上各地区会有较大差异。

天然放射性的影响

| 天然放射性成分 | 年有效剂量 (mSv) | |
|-----------------------------------|-------------|-------|
| | 普通地区 | 高本底地区 |
| 宇宙射线 | 0.38 | 2.0 |
| 宇生核素 | 0.01 | 0.01 |
| 地表放射性从外部 造成人体的照射 | 0.46 | 4.3 |
| 地表放射性进入人 体 造成的内照射 (不 含氡) | 0.23 | 0.6 |
| 氡及其子体引起的 内照射 | 1.27 | 10.2 |
| 总计 | 2.4 | - |

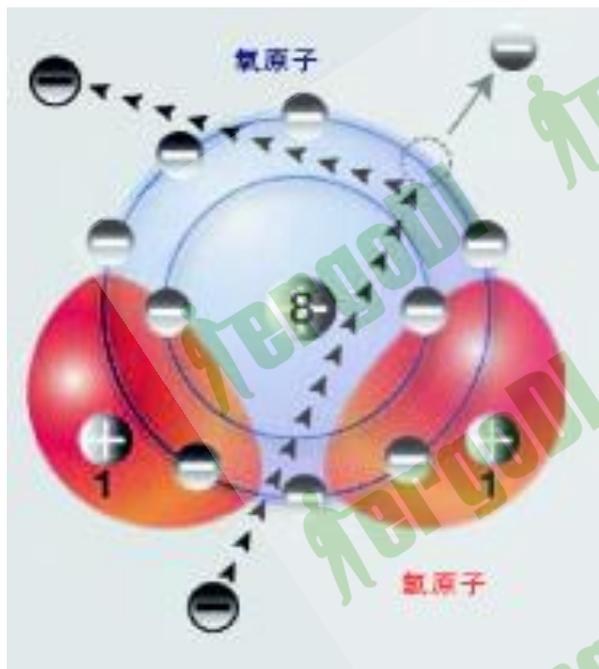
人工天然放射性

“人工放射性”是由人工方法有意或者无意生产的放射性物质。主要包括医学应用、武器应用（核爆）、工业应用、核能利用（核电）等。

人工放射性核素比天然存在的放射性核素要多许多。目前共发现了2800多种放射性核素，其中80%以上是通过人工手段制备的。

福岛核事故处理过程中，日本政府在没向中韩等邻国通报，直接向海洋排放大量的放射性废水。这些放射性会会逐渐随着洋流扩散到整个海洋，浓度也越来越低。不过也有可能出现放射性内富集情况，比如一些海洋生物体内放射性浓度明显增高。

核辐射与物质的相互作用



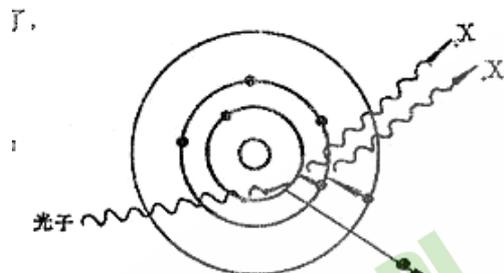
当射线穿过物质的时候，就会损失能量，这些能量会沉积在该物质中。带电粒子通过物质时，同物质原子中的电子和原子核发生碰撞进行能量的传递和交换，其主要的作用是带电粒子直接使原子电离或激发。非带电粒子则通过次级效应产生次带电粒子使原子电离或激发。能够直接或间接引起介质原子电离或激发的核辐射通常叫做电离辐射。

带电粒子与物质的作用

电离：由于带电入射粒子和靶原子核外电子之间库仑力作用，使电子受到吸引或排斥，使入射粒子损失部分能量，而电子获得一部分能量。如果传递给电子的能量足以使电子克服原子的束缚，那么这个电子就脱离原子成为自由电子；而靶原子由于失去电子而变成带正电荷的正离子，这一过程叫做电离。

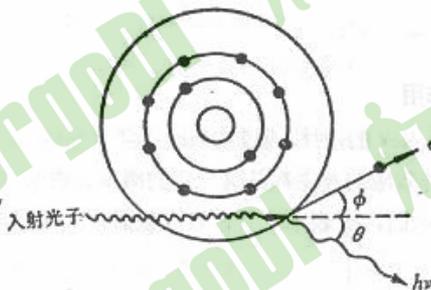
激发：如果入射带电粒子传递给电子的能量较小，不足以使电子摆脱原子核的束缚成为自由电子，只是使电子从低能级状态跃迁到高能级状态（原子处于激发态），这种过程叫原子的激发。处于激发态的原子是不稳定的，原子从激发态跃迁回到基态，这种过程叫做原子退激，释放出来的能量以光子形式发射出来，这就是受激原子的发光现象。

X、 γ 光子与物质的作用



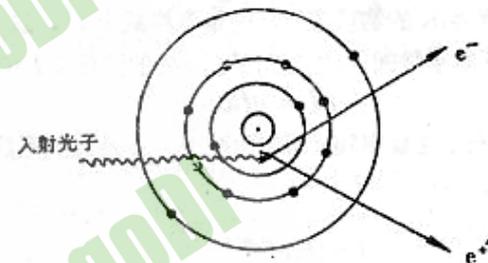
光电效应

当 γ 光子通过物质时，与物质原子中束缚电子发生作用，光子把全部能量转移给某个束缚电子，使之发射出去，而光子本身消失了，发射出来的电子叫光电子。



康普顿效应

入射 γ 光子同原子中外层电子发生碰撞，入射光子仅有一部分能量转移给电子，使它脱离原子成为反冲电子；而光子能量减小，变成新光子，叫做散射光子，运动方向发生变化。



电子对效应

当一定能量的 γ 光子进入物质时， γ 光子在原子核库仑场作用下会转化为一对正负电子。

中子与物质的作用

中子很特别，它跟介质的“碰撞”比较复杂。X光子、 β 粒子、 α 粒子等跟介质的“碰撞”，其实是跟介质原子的核外电子的“碰撞”。由于受到核外电子的保护，这些射线粒子一般不会跟“碰”到原子核。中子则不同，它不带电荷，进入介质中，不会跟原子核外电子发生碰撞。它直接跟原子核“碰撞”。

中子与原子核的作用分为两类：中子的散射，中子与原子核发生弹性散射与非弹性散射并产生反冲核；中子的俘获，中子被原子核俘获而形成复合核，再蜕变而产生其它次级粒子。

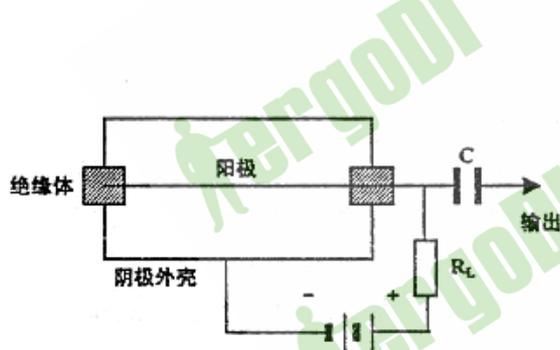
核能利用的基础：中子诱发铀-235链式裂变反应。



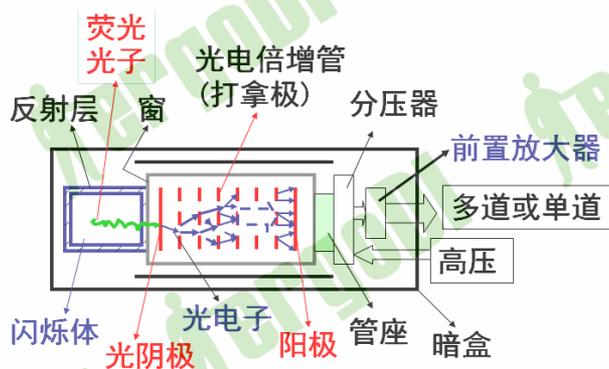
核辐射探测方法

由于射线是不能感知的，因此必须借助于探测器来探测各种射线辐射，给出射线的类型、强度(数量)、能量及时间等特性。

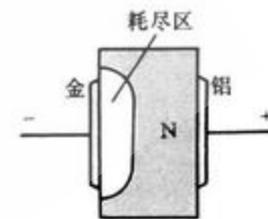
射线探测器按其探测介质类型及作用机制主要分为气体探测器、闪烁探测器和半导体探测器三种。



气体探测器



闪烁体探测器



半导体探测器

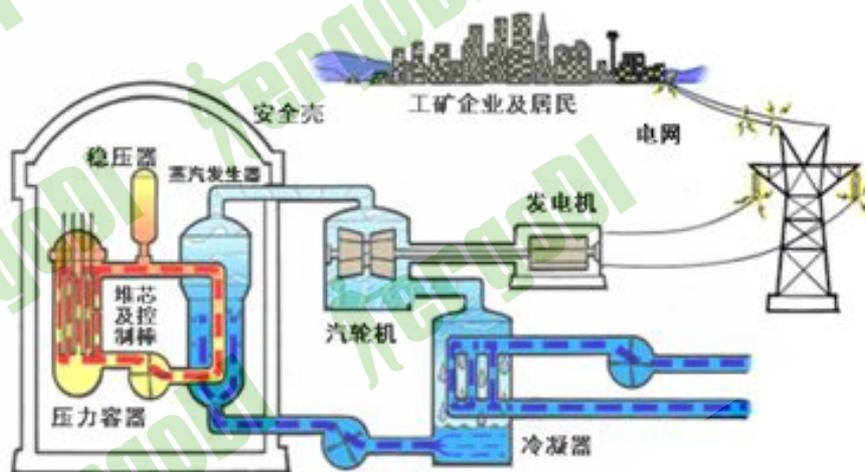
常见核辐射探测器



放射性的应用



核技术应用



核能应用

核技术是现代科学技术的重要组成部分，现已广泛应用于国防、科研、工业、农业、医学、通讯、交通、环保、资源开发和科学研究等各个领域，形成相对独立和完整的研究和应用体系，且带来了巨大的社会效益。1993年，美国核技术的非动力应用对美国经济的贡献达到2570亿美元，是核电的3.5倍，占美国GDP的3.9%，并创造了370万个就业岗位，是核电的3.5倍；而到2004年，中国核技术总产值也达到了400亿元人民币，还具有很大的发展潜力。

工业应用

核技术在工业中的应用主要体现为生产过程中的检测与分析、辐射加工和同位素示踪等。具体举例为料位计、密度计、测厚仪、核子秤、中子水分计、X荧光分析仪、 γ 射线探伤机、集装箱检测和离子感烟火灾报警器等。



alibaba.com.cn

农业应用

核技术农业应用主要包括辐射育种和辐射不育防治虫害两个方面。



“辐射2号”甜糯自交一代高产品
“502”大粒稳定杂交种



辐射玉米甜糯黄皮在黄中黄粒黄糯品种
一种“辐射2号”甜糯，抗高寒早熟，
品质优异抗病，抗逆、增产、早熟，处
理适宜特点：甜糯黄皮，设计推广种植
面积达66万亩，栽培株数达3209万亩。



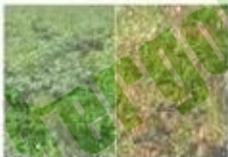
辐射子实辐射使体重的个体增大
左：对照，右：辐射个体



辐射子实辐射使体重的个体增大
左：对照，右：辐射个体



辐射子实辐射使瓜皮变厚
左：对照，右：辐射（瓜皮厚），抗寒耐贮藏



辐射子实辐射使瓜皮变厚
左：对照，右：辐射瓜皮变厚



辐射子实辐射使瓜皮变厚
左：辐射个体，右：对照



辐射子实辐射使瓜皮变厚
左：对照，右：辐射瓜皮变厚



医学应用

核技术医学应用的主要包括核医学诊断、治疗及生命科学研究等方面。

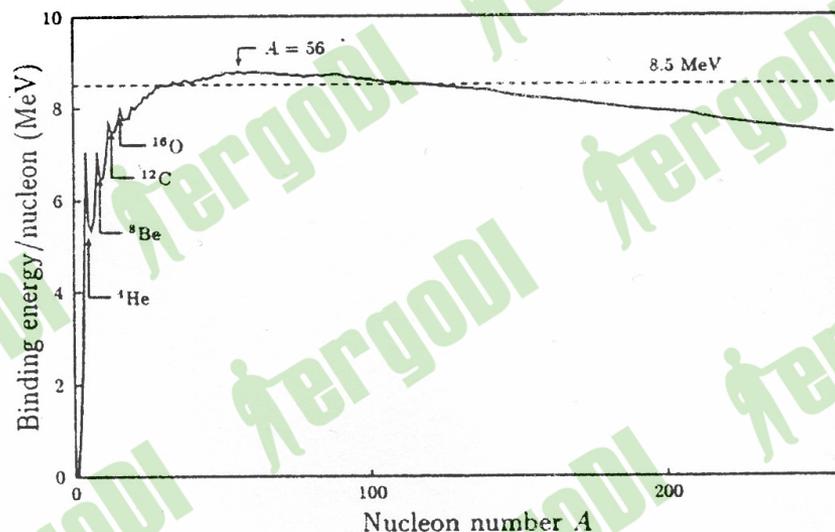


MRI



BNCT

核能应用



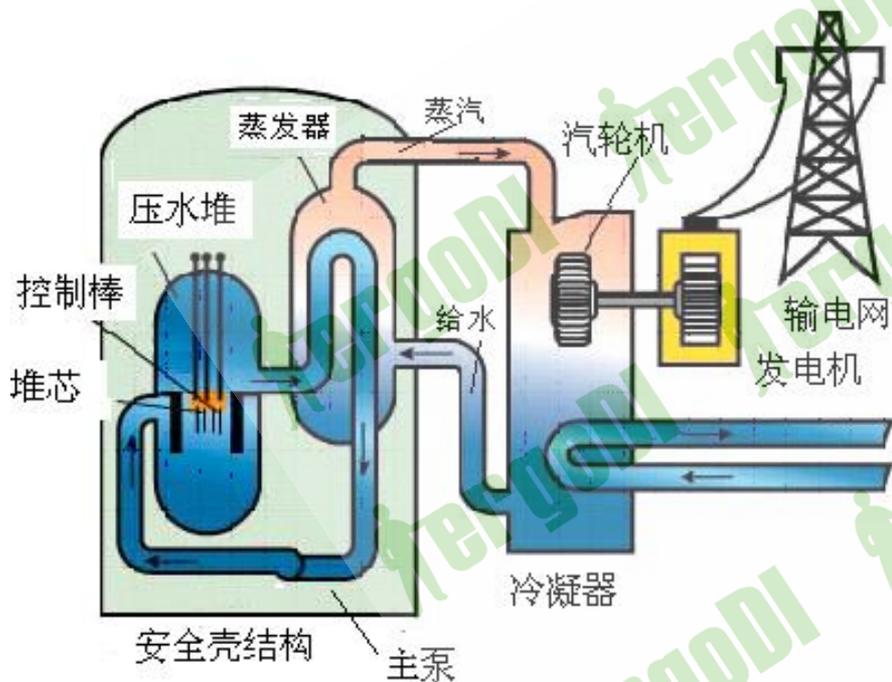
从比结合能曲线可以看出，有两个途径可以获得能量，一个是重核裂变，即一个重核分裂成两个中等质量的核；另一个是轻核聚变，即两个轻核融合为一个较重质量的核，这种由原子核变化产生的能量就被成为核能。我们常听说到的原子弹与氢弹就是分别根据重核裂变和轻核聚变两个原理制造并的，目前民用核能的应用主要是核电站及核动力装置，他们的核心设施都是后面会介绍到的核反应堆。

核电

利用核裂变产生的巨大能量，可以将反应堆用作舰船动力和商用发电，在民用范围内通常指核能发电的应用。目前，商用核电站用的反应堆主要有压水堆（PWR）、沸水堆（BWR）、重水堆（PHWR）、高温气冷堆（HTGR）和快中子堆（LMFBR）等五种堆型。

| 堆型 | 中子谱 | 慢化剂 | 冷却剂 | 燃料形态 | 燃料富集度 |
|-------|-----|------------------|------------------|---------------------------|-----------|
| 压水堆 | 热中子 | H ₂ O | H ₂ O | UO ₂ | 3%左右 |
| 沸水堆 | 热中子 | H ₂ O | H ₂ O | UO ₂ | 3%左右 |
| 重水堆 | 热中子 | D ₂ O | D ₂ O | UO ₂ | 天然铀或稍加浓铀 |
| 高温气冷堆 | 热中子 | 石墨 | 氦气 | (Th,U) O ₂ 或UC | 7~20%或90% |
| 钠冷快堆 | 快中子 | 无 | 液态钠 | (U,Pu) O ₂ | 15~20% |

核电



优点:

- 1) 核能资源丰富、能量密度高
- 2) 核电是清洁能源, 有利于保护环境
- 3) 从性价比上来讲, 核电要优于火电

缺点:

- 1) 热污染排出的热水会对附近的海域生态造成影响;
- 2) 核废料处理核废料处理一直是一个难解之题, 尤其是高放废物的处理与处置问题;
- 3) 射线辐射射线对生物体细胞造成伤害, 使得细胞病变。

核电



开放 创新 合作 共赢

上海仁机仪器仪表有限公司



上海仁机仪器仪表有限公司
Shanghai Ergonomics Detecting Instrument CO.,LTD



专业辐射检测设备供应商