# 第十九章 2 放射性元素的衰变

在古代，不论是东方还是西方，都有一批人追求“点石成金”之术，他们妄想将一些普通的矿石变成黄金。当然，这些炼金术士的希望都破灭了，因为他们不知道一种物质变成另一种物质的根本在于原子核的变化。不过，类似于“点石成金”的事一直就在自然界中进行着，这就是伴随着天然放射现象发生的“衰变”。

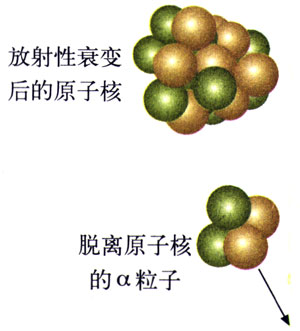
## 原子核的衰变

原子核放出α粒子或β粒子，由于核电荷数变了，它在周期表中的位置就变了，变成另一种原子核。我们把这种变化称为原子核的**衰变（decay）**。

铀238核放出一个α粒子后，质量数减少4，电荷数减少2，成为新核。这个新核就是钍234核。这种衰变过程叫做α衰变。这个过程可以用下面的衰变方程表示

23892U→23490Th＋42He

**图19.2-1 α衰变**



在这个衰变过程中，衰变前的质量数等于衰变后的质量数之和；衰变前的电荷数等于衰变后的电荷数之和。大量事实表明，原子核衰变时**电荷数和质量数都守恒**。

“电荷数之和”指代数和，因为发生β衰变时，电子的电荷数是-1。

### 思考与讨论

在α衰变中，新核的质量数与原来的核的质量数有什么关系？相对于原来的核在周期表中的位置，新核在周期表中的位置应当向前移还是向后移？要移动几位？你能概括出α衰变的质量数、核电荷数变化的一般规律吗？

23892U在α衰变时产生的23490Th也具有放射性，它能放出一个β粒子而变为23491Pa（镤）。由于电子的质量比核子的质量小得多，因此，我们可以认为电子的质量数为零、电荷数为-1，可以把电子表示为0-1e。这样，原子核放出一个电子后，因为其衰变前后电荷数和质量数都守恒，新核的质量数不会改变但其电荷数应当加1。其衰变方程为[[1]](#footnote-1)

23490Th→23491Pa＋0-1e

放出β粒子的衰变叫做β衰变。



**图19.2-2 β衰变**

### 思考与讨论

在β衰变中，质量数、核电荷数有什么变化规律？

原子核里没有电子，β衰变中的电子来自哪里？进一步的研究发现，β衰变的实质在于核内的中子（10n）转化成了一个质子和一个电子。其转化方程是

10n→11H＋0-1e

这种转化产生的电子发射到核外，就是β粒子；与此同时，新核少了一个中子，却增加了一个质子。所以，新核质量数不变，而电荷数增加1。

事实表明，2个中子和2个质子能十分紧密地结合在一起，因此在一定条件下它们会作为一个整体从较大的原子核中被抛射出来，于是，放射性元素就发生了α衰变。

原子核的能量也跟原子的能量一样，其变化是不连续的，也只能取一系列不连续的数值，因此也存在着能级，同样是能级越低越稳定。放射性的原子核在发生α衰变、β衰变时，蕴藏在核内的能量会释放出来，使产生的新核处于高能级，这时它要向低能级跃迁，能量以γ光子的形式辐射出来。因此，γ射线经常是伴随α射线和β射线产生的。当放射性物质连续衰变时，原子核中有的发生α衰变，有的发生β衰变，同时伴随着γ辐射。这时，放射性物质发出的射线中就会同时具有α、β和γ三种射线。

## 半衰期

放射性同位素衰变的快慢有一定的规律。例如，氡222经过α衰变成为钋218，如果隔一段时间测量一次剩余氡的数量就会发现，每过3.8天就有一半的氡发生了衰变。也就是说，经过第一个3.8天，剩有一半的氡；经过第二个3.8天，剩有的氡；再经过3.8天，剩有的氡（图19.2-3）……因此，我们可以用“半衰期”来表示放射性元素衰变的快慢。放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间，叫做这种元素的**半衰期（half life）**。

不同的放射性元素，半衰期不同，甚至差别非常大。例如，氡222衰变为钋218的半衰期是3.8天，镭226衰变为氡222的半衰期是1 620年，铀238衰变为钍234的半衰期竟长达4.5×109年。

衰变是微观世界里原子核的行为，而微观世界规律的特征之一在于“单个的微观事件是不可预测的”，即对于一个特定的氡原子，我们只知道它发生衰变的概率，而不知道它将何时发生衰变。一个特定的氡核可能在下1s就衰变，也可能在10 min之内衰变，也可能在200万年之后再衰变。然而，量子理论可以对大量原子核的行为做出统计预测。例如，对于大量氡核，可以准确地预言在1 s后、10 min后，或200万年后，各会剩下百分之几没有衰变。放射性元素的半衰期，描述的就是这样的统计规律。

放射性元素衰变的快慢是由核内部自身的因素决定的，跟原子所处的化学状态和外部条件没有关系。例如，一种放射性元素，不管它是以单质的形式存在，还是与其他元素形成化合物，或者对它施加压力、提高温度，都不能改变它的半衰期。这是因为压力、温度或与其他元素的化合等，都不会影响原子核的结构。

## 科学漫步

1996年开始的“夏商周断代工程”，是我国“九五”计划的重要科研项目，经过200多位专家历时5年的合作研究，标志性成果《夏商周年表》于2000年11月9日正式公布。研究成果将我国的历史纪年由西周晚期的共和元年，即公元前841年，向前延伸了1 200多年。夏商周断代工程综合研究不仅利用了历史学、古文献学、古文字学、天文学的研究成果，而且也利用了碳14衰变来进行年代测定。

自然界中的碳主要是12C，也有少量14C。14C是高层大气中的12C原子核在太阳射来的高能粒子流的作用下产生的。14C具有放射性，能够自发地进行β衰变，变成氮，半衰期为5 730年。14C原子不断产生又不断衰变，达到动态平衡，因此它在大气中的含量相当稳定，大约每1012个碳原子中有一个14C。活的植物通过光合作用和呼吸作用与环境交换碳元素，体内14C的比例与大气中的相同。植物枯死后，遗体内的14C仍在衰变，不断减少，但是不能再得到补充。因此，根据放射性强度减小的情况就可以推算植物死亡的时间。

例如，要推断一块古木的年代，可以先把古木加温，制取1g碳的样品，再用粒子计数器进行测量。如果测得样品每分钟衰变的次数正好是现代植物所制样品的一半，表明这块古木经过了14C的一个半衰期，即5 730年，如果测得每分钟衰变的次数是其他值，也可以根据半衰期计算出古木的年代。

在夏商周断代工程中，通过改进设备、严格控制样品质量等措施，已经使14C测年精度达到±20年。

当然，一种文物年代的最终确定，也不能只用14C这一种方法，而是要通过多方面比较对照。例如，我国考古人员用14C对长沙马王堆一号汉墓的外椁盖板杉木测量。结果表明该墓距今2 130±95年；再通过历史文献考证，该墓主人生活在西汉早期，应在2 100年前，两者符合得很好。

在经济建设中也会用到碳14测定年代的方法。例如，进行基本建设时，地质基础的力学性质是个重要指标。一般说来，地层形成年代越早，固结程度越高，抗冲击性和承压性越好。北京饭店新楼施工时，在地面以下13 m深的位置发现了两棵直径达1 m的榆树。用碳14测定，这两棵树距今29 285±1 350年。据此数据，建设部门认为这个地层已经足够古老，可以作为地基，于是停止下挖，这样就节约了资金。

幽门螺杆菌可以引发多种胃病，因此能否准确、迅速地检测病人是否受到感染，对于治疗方案的选择是个关键。幽门螺杆菌在生命过程中会产生一种酶，它使尿素分解，生成物中包括二氧化碳。如果在检测前让病人服下少量尿素，根据呼出的气体中是否含有酶分解尿素产生的二氧化碳，即可做出诊断。

为了与正常新陈代谢产生的二氧化碳区分，可以请病人服下用14C合成的尿素。14C与12C的化学性质相同，不过具有放射性，因此检测呼出的二氧化碳是否具有放射性即可准确判断。但是射线对人体有害，所以这不是很好的选择。

现在医院里普遍选用的尿素是用无放射性的13C合成的。用质谱仪或光谱分析的方法检测呼出的二氧化碳中是否含有13C，就可以判断病人的胃部是否被幽门螺杆菌感染。这种方法准确、迅速，现在已经得到了广泛应用。

## 问题与练习

1．β射线是高速电子流。原子核中没有电子，为什么有些放射性元素的原子核会放射β粒子？

2．写出下列各放射性元素的β衰变方程：（1）24483Bi（铋核）；（2）21084Po（钋核）。

3．写出下列各放射性元素的α衰变方程：（1）23490Th（钍核）；（2）6629Cu（铜核）。

4．23892U（铀核）衰变为22286Rn（氧核）要经过几次α衰变，几次β衰变？

5．已知钍234的半衰期是24天，1g钍经过120天后还剩多少？

6．铋210的半衰期是5天，经过多少天后，20 g铋还剩1.25 g？

1. 发生β衰变时，除了产生电子0-1e外，还产生反电子中微子e。由于e 的质量数和电荷数都是0，所以在中学教科书中一般都不写出。 [↑](#footnote-ref-1)