

# 人工核反应和人工放射性的发现

沈 慧 君

在人类探索自然和控制自然的斗争中，人工核反应和人工放射性的发现有着特殊的历史地位。因为这两个重大事件，标志着人类驾驭大自然的能力又上了一个台阶。

## 惊人的预言

1914年夏，卢瑟福应邀到美国华盛顿去讲学，他演讲的总题目叫：《物质的组成和元素的演变》。他讲到放射性的发现时阐明原子内部蕴藏有巨大的能量；讲到天然放射性的衰变规律时论证这是一种核现象；讲到原子核的发现经过及其实验证据时，阐述了原子核的初步理论，并且判定原子核是由更基本的物质构成。在讲座的结尾，卢瑟福作了一个惊人的预测。他认为，从天文学和放射学的新成就可以提供这样的展望，元素的转变不一定只限于从重元素变为轻元素，似乎也有可能从轻元素变为重元素。例如，从太阳和某些最热的星体我们可以观察到氢和氦的光谱，而从较冷的星体则往往发现其他元素的光谱，也许这意味着，当温度降低时，轻元素可以复合成重元素。

卢瑟福的这个猜测虽然缺乏充分的科学论证，但还是有一定根据的。不过，卢瑟福很慎重，他随即宣称：还没有观测到任何迹象，能说明放射性过程在普通的条件下可以逆行。

卢瑟福对元素之间的转变是深思熟虑的。据说，卢瑟福还在新西兰当大学生的时候，克利斯特丘奇学院有一个科学社团组织，曾组织过一次关于“演变”的讨论会，当时卢瑟福正是该社团的秘书。他自己在讨论会上以《元素的转变》为题作了一个演讲，社团还因此被认为是在胡思乱想而受到批评。卢瑟福对元素的转变确有深邃的见解，在放射性转变和 $\alpha$ 射线的研究中，从未离开这一思想。

有趣的是，正当卢瑟福在美国作轻元素可以转变成重元素的预言时，在英国曼彻斯特的实验室里，他的助手马斯登却正在为一个反常的实验结果烦恼。

## 反常的结果

马斯登原来是卢瑟福的学生，1908年在卢瑟福指导下，曾和盖革一起发现 $\alpha$ 射线大角度散射，从而导致卢瑟福建立原子有核理论。

1914年，马斯登在用闪烁镜观测 $\alpha$ 射线在空气中的射程时，注意到出现了一些射程特别长的粒子。这

使他十分吃惊，因为当时已经掌握， $\alpha$ 粒子在空气中的射程大约为7厘米，可是这种粒子射程却长达40厘米。马斯登反复检验，证明实验没有错误。经过认真推敲，他判定这种长射程的粒子不是别的，而是质子，即氢离子；在 $\alpha$ 粒子的撞击下，氢离子发生反冲； $\alpha$ 粒子就是氦离子，比氢离子重4倍，所以碰撞后氢的速度要比原来 $\alpha$ 粒子的速度大4倍。马斯登以为这足以解释上述现象了，就把这结果告诉了卢瑟福。不久，马斯登离开曼彻斯特，这件事也就搁了下来。

## 搞清了真象

但是卢瑟福并没有轻信马斯登的解释。他决定亲自作实验进行检验。其时正值第一次世界大战，他忙于海军水声学研究，无暇顾及，但仍抽空亲自做了许多实验。在他给丹麦物理学家玻尔的信中多次提到实验的进程。例如，在1917年12月9日的信中他写道：

“我有时找到个把半天时间来试试自己的实验，得到了最终将会证明是很重要的结果。……我正在检测和统计被 $\alpha$ 粒子驱动的轻原子，所得结果我想会对核周围力的性质和分布情况作出很多说明。我还在试验用这种方法来击碎原子。看来，有一次的结果很满意，但还要做很多工作予以确证。”

1918年11月17日，卢瑟福在给玻尔的信中，又写道：“我多希望在这里和您一起讨论核碰撞结果的意义。我想，我已经得到了一些相当惊人的结果，我的老眼统计微弱的闪烁数真够困难（此时卢瑟福已47岁了）。不过靠了凯依（卢瑟福的得力助手）的帮助，在过去四年的业余时间里，我还是做了大量工作。”

1919年，卢瑟福以《 $\alpha$ 粒子与轻原子的碰撞》为题，连续发表了四篇论文，报道实现了轻元素原子的人工转变。这一重大成果的发表马上引起了全世界科学家的注意。然而，令人惊奇的是，这样伟大的发现，却是靠了极为简陋的实验装置。

图1就是卢瑟福所用的装置。这是一个密封的容器A，从活栓可灌入或抽去气体。 $\alpha$ 射线源D放在可以左右移动的支架上，位置由刻度尺B指示。不远处有闪烁屏S，背后用显微镜M观察，如此而已。他先后将不同的气体充入容器。当用氮气充入时，发现放射源至闪烁屏的距离即使超过 $\alpha$ 粒子的射程很多，仍有闪烁可见。射程之长确与氢离子的射程相近；而容器充以氧气时却没有这种情况。卢瑟福在论文中写道：

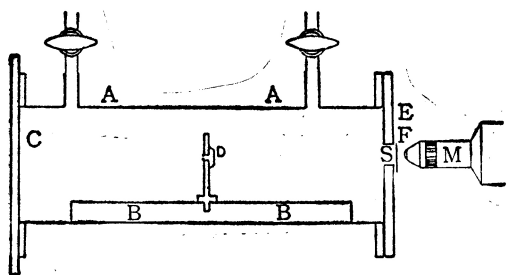
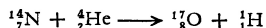


图1 卢瑟福用 $\alpha$ 粒子轰击轻元素的实验装置。

“我们必须作这样的结论，氮原子在快速 $\alpha$ 粒子的直接碰撞所产生的巨力作用下转变了，放出的氢原子曾是氮核的组成部分。……由整个结果看出，如果 $\alpha$ 粒子——或类似的投射粒子——有更大的能量可供实验的话，我们就可以期望击破许多轻元素的核结构。”

卢瑟福从简单而原始的实验，得出了意义重大的结论，如果不是事先有元素转变的思想准备，恐怕是会连想都不敢想的啊！

1919年，卢瑟福继 J. J. 汤姆生担任剑桥大学卡文迪许实验室物理教授，在那里，他进一步确证氮原子经 $\alpha$ 粒子轰击，发生了如下核转变：



1921年，卢瑟福和查德威克又发现硼、氟、钠、铝和磷都可以产生类似的转变。

1925年，卡文迪许实验室的布拉开特用威尔逊云室记录粒子的径迹，找到了氮气在 $\alpha$ 粒子轰击下产生氢核的直接证据。不过，几率非常之小，他拍了23000张云室照片，共记录了四十万根径迹，其中只有8根径迹出现分叉现象。他证明分出的枝叉正是氢核的径迹（图2）。

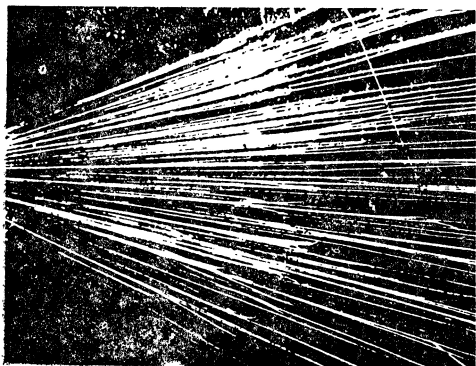


图2 布拉开特用云室拍摄到了氢核的径迹就这样，人类终于实现了古代“点金术”的梦想。

### 感生放射性之谜

早在1899年，皮埃尔·居里曾发现一个奇特的现象，

镭和钍可以使周围的物质获得暂时的放射性。他把这个现象称为感生放射性。他认为，这也许是放射性引起的二次放射。他注意到，感生放射性的强度会随时间变化，开始逐渐增大直至达到某一限度，该限度不依赖于这些物质的种类，只和放射源有关。如果把这些物质加热或置于真空中，感生放射性就会减轻。1900年，克鲁克斯也发现：如果氢氧化铁在铀盐溶液中沉淀，所有的放射性都附到沉淀物上，而铀却失去了放射性，几天后，沉淀物失去了放射性，铀则恢复了放射性。他也把这一现象归于感生放射性。

感生放射性成了一个令人迷惑不解的谜。

后来，卢瑟福在研究这个问题时，发现镭会变成一种很重的具有放射性的气体，他称之为镭射气（现在叫做氡），并且发现了放射性衰变定律，这才搞清了现象的本质，原来是镭在衰变过程中放出的氡，随着空气散逸在周围，有的就附着在器皿上，因此误认为周围的物体感应产生了放射性，从而解开了感生放射性之谜。

然而，读者也许没有想到，到了三十年代，真的发现了“感生”放射性，而感生放射性的真正发现者正是居里先生的女儿和他没有见过面的女婿。

这一“感生”放射性的正式名称叫人工放射性。

### 人工放射性的发现

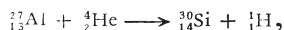
第一次世界大战前后，居里夫人一直带领她的女儿战斗在放射学的前沿。她的大女儿叫伊伦·居里，在第一次世界大战中，她们母女俩随军战地服务，为伤员进行X光透视。不满20岁的伊伦协助母亲看管X光机。战后，伊伦继续当居里夫人的助手，并开始独立研究放射学。

弗雷德里克·约里奥原是法国著名物理学家朗之万的学生，他深深敬仰朗之万严谨的科学态度、精湛的物理学识和对社会的看法，年轻时就以朗之万和居里夫人作为自己学习的榜样。后来，约里奥经过一年多的军事服役后，于1925年经朗之万推荐，到居里夫人主持的镭研究所当了一名助手，从此，开始与伊伦·居里的合作。后来他们结了婚。人们往往用约里奥-居里来称呼他们两人。年轻的一代在居里夫人的带领和培育下，继承和发扬了老一辈的科学精神，继续向放射学进军。约里奥曾对威尔逊云室作了重要改进，为以后的工作打下了良好基础。

1931—1932年，约里奥-居里夫妇虽然失去了两次作出发现的机会，一次是中子，一次是正电子。但是他们没有气馁，继续研究中子与正电子的产生及其属性，终于在1934年发现了人工放射性。这一发现差一点也要失掉机会，因为他们曾一度对自己的实验结果作出错误的解释。事情的经过是这样的：

三十年代初，居里的镭研究所和世界上其他几个

放射学研究中心一样，都在研究  $\alpha$  粒子轰击轻元素后引起的核反应。约里奥-居里在这方面一直处于领先地位。他们不仅搞清了正负电子对产生的条件，而且还单独获得了正电子的记录，并且证实了正电子具有连续的能谱。在他们用  $\alpha$  粒子轰击铝和硼时，观察到了中子和正电子。他们起初以为这就是质子与中子的相互转变，因为  $\alpha$  粒子轰击铝的过程可以用下列方程表示：



也可以用另一方程表示：



其中  ${}_2^4\text{He}$  代表  $\alpha$  粒子， ${}_1^1\text{H}$  代表质子， ${}_0^1\text{n}$  代表中子，而  ${}_1^0\text{e}$  代表正电子。

但是，当他们进一步追查正电子的生成时，他们凭借谨慎严密的观察力得到了意外的发现，发现在把铝片从放射源处移走后，被辐射过的铝片不再继续发射中子，却继续发射正电子，只是强度衰减得很快，3 分钟就减为原来的一半。

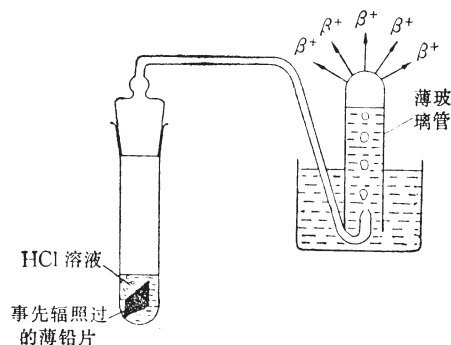


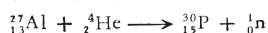
图 3 约里奥-居里检验放射性的实验装置图

于是他们用化学方法仔细查找放射正电子的成份，终于发现磷 30 是不稳定的中间生成物，它会继续放出  $\beta^+$  粒子（即正电子）。他们在 1934 年 1 月 19 日向《自然》杂志写了一则通讯，报道这一发现，里面写道：

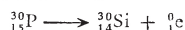
“我们最近的一些实验显示出了一个十分令人惊奇的事实。铝片放在钋制品上受到辐射，如果该放射性制品移走，正电子的发射并不立即停止。铝片保持有放射性，并且这种放射性的辐射也和一般放射性元素一样，作指数衰减。对于硼和镁，我们也观察到了同类现象。”

“当我们把辐照过的铝片溶于盐酸中，放射性就以气态跟随氢气逸走，可以收集在管子里。化学反应必定是形成了氢化磷（ $\text{PH}_3$ ）或氢化硅（ $\text{SiH}_4$ ）”

图 3 就是检验放射性的实验装置图。整个转变过程分为两个阶段，写成反应式，就是：



磷 30 不稳定，继续转变为硅 30：



人工放射性的发现，受到了世界各国科学家的重视，1935 年，约里奥-居里夫妇双获诺贝尔化学奖。在领奖演说词中，伊伦·约里奥-居里讲到：

“1934 年初，当我们从事研究正电子的发射时，注意到这种转变与所有迄今产生的转变有根本的不同；所有感生的核化学反应都是即时发生的现象，但是铝在  $\alpha$  源作用下产生的正电子都在移走放射源后还持续一些时候。……于是，从正电子的发射我们获得了真正的放射性。……这些人工的放射元素的行为在各方面都和天然放射元素一样。”

人工放射性完全可以代替天然放射性。从此，科学家不必仅仅依靠自然界的恩赐，可以根据自己的意愿开展放射学的研究和应用，这就大大地推动了核物理学的发展进程。弗雷德利克·约里奥在诺贝尔演说词中讲到：

“回顾过去，检视科学以越来越快的步伐所取得的进步，我们就可以想象到：科学家必定能够按自己的愿望造出元素或分裂元素，实现爆炸式的转变，这才是真正的化学链式反应。”

“如果这类转变真的在物质中成功地蔓延，可以想象，将会有不寻常的能量大量释放出来。”

这是 1935 年说的话，果然没有过几年，核物理学的发展证实了约里奥的预言。1938—1939 年发现了重核裂变。

从人工核反应和人工放射性的发现，我们可以得到很多教益，其中最引人深省的也许是：对于一个尚未澄清的新现象，切忌想当然地匆忙下结论，应该进行充分的探讨，在掌握足够的证据后，再作出判断。如果卢瑟福轻信了马斯登的解释；如果约里奥-居里夫妇满足于原先的结论，这两次发现的历史也许是另外的样子了。我们在工作中要经常总结经验，学会正确地进行分析和判断。在学习科学知识的同时，吸取前辈科学家成功与失败的经验与教训，不是也很有益处吗？