# 第 9 章 原子核物理学和粒子物理学的发展

## 9.6 中子的发现

核物理学在 20 世纪 20 年代经历了一个低潮时期，似乎没有很多惊人的发现，但却酝酿着新的萌芽。到了 30 年代初期，一下子都涌现了出来。正电子是一例，氘是一例，人工放射性又是一例。而中子的发现，影响最为深远，因为从此对核的结构有了更正确的了解，为建立核理论奠定了基础。同时，利用中子作为入射粒子，为进一步探索核反应的规律找到了更有力的武器。

### 9.6.1 早期设想

1920 年以前，人们根据积累的事实，普遍认为原子核是由质子和电子组成的。这种观念既包含了 1815 年普劳特（Prout）关于一切元素的原子都由氢原子构成的假说，又解释了汤姆孙和阿斯通用质谱仪作出的新发现。但是新的矛盾也出现了，莫塞莱精确建立了核电荷数 *Z* 与原子序数的恒等关系，证明质子数与电子数不可能相等，这就促使卢瑟福在 1920 年提出大胆的，却是经过深思熟虑的新假说。他讲到：

“在某些情况下，也许有可能由一个电子更加紧密地与 H 核结合在一起，组成一种中性的双子。这样的原子也许有很新颖的特性。除非特别靠近原子核，它的外场也许实际为零。结果就会使它有可能自由地穿透物质。它的存在也许很难用光谱仪进行检测。也许不可能把它禁闭在密封的容器里。换句话说，它应很容易进入原子结构内部，或者与核结合在一起，或者被核的强场所分解。……”

“要解释重元素核的组成，这种原子的存在看来几乎是必需的。”[[1]](#footnote-1)

这就是著名的卢瑟福中子假说。

### 9.6.2 持续的探索

为了检验卢瑟福的假说，卡文迪什实验室从 1921 年起就开始了实验工作。卢瑟福的早年学生和得力助手查德威克目标明确、坚持不懈地进行探索，历经 11 年，终于在 1932 年找到了确实的证据。

开始，查德威克和他的同事们试图在氢气的放电中找到这种贯穿力极强的辐射，但没有成功。1923 年查德威克用盖革发明的点计数器进行测量，也无效果。次年他向卢瑟福建议用 200 000 伏来加速质子，因为在强电场中中子可能形成或存在，而用快速质子打人原子，也许能找到一些证据。但事与愿违，他只能用特斯拉（Tesla）线圈产生的高压来进行实验。

1929年，卢瑟福和查德威克在《剑桥哲学会刊》上汇报了以前采用过的各种方法，并讨论了寻找中子的可能方案。他们寄希望于在人工转变实验中不发射质子的某些元素，认为也许会有不受磁场偏转的辐射引起微弱的闪烁。

他们对铍特别感兴趣，因为铍在 α 粒子轰击下不发射质子。据说，铍矿往往含有大量的氮，也许铍核在辐射的作用下，会分裂成两个 α 粒子和一个中子。

查德威克安排他的学生用钋作为放射源对铍进行辐照，他们做了大量实验，一度曾出现有利的证据，但由于放射源（钋）不够强，信号太弱，无法作出判断。

1930 年，当他们有了比较强的钋源和用放大线路增强灵敏度的计数装置后，德国人玻特（W.Bothe）已经率先发表了用钋 α 轰击铍的实验结果。

### 9.6.3 错误的判断

玻特曾在盖革的研究所工作，研究盖革计数器，并用之于探测微观粒子，对核物理研究方法的改进作出过贡献。从 1928 年起，玻特和他的学生贝克尔（H.Becker）用钋的 α 粒子表击一系列轻元素，发现 α 粒子袭击铍时，会使铍发射穿透能力极强的中性射线，其强度比其他元素所得大过 10 倍，穿透力比 γ 射线强得多。他们认为这是一种特殊的 γ 射线。在巴黎，居里实验室的约里奥-居里夫妇（F.Joliot，1900—1958与 I.Curie，1897—1956）也正在进行类似实验，很快就证实了玻特的结果。他们虽然尚未采用电子学方法，但却拥有比别人强得多的放射源。他们将含氢的石蜡置于铍辐射源的游离室之间，发现计数大增，显然，石蜡又发出了一种更强的射线。用磁场可使石蜡发出的射线产生微小偏转。经过比较，证明这一射线是质子流，速度很高。他们和玻特一样，把铍辐射看成 γ 射线，认为质子流的产生是 γ 粒子撞击氢离子的结果，是类似于康普顿效应的某种特殊现象。就这样，玻特和约里奥-居里夫妇都错过了发现中子的机会。约里奥-居里夫妇后来讲，如果他们读过并且领会 1920 年卢瑟福的演讲，肯定会对这个实验的意义有正确的理解。

### 9.6.4 查德威克发现中子

约里奥-居里夫妇的失误还在于他们没有认真核算高速质子的动量和能量是如此之大，靠 γ 粒子撞击而作反冲运动，是否符合动量守恒和能量守恒。据查德威克回忆，当他读到约里奥-居里报导铍辐射的惊人特性的那一篇文章时，他把约里奥-居里的看法告诉了卢瑟福。卢瑟福喊道：“我不相信。”他不相信这是康普顿效应，认为很可能这里出现了多年寻找的中子！

查德威克经过几天紧张的实验，用准备好的钋源和新的探测仪器，复核了玻特和约里奥-居里的结果。1932 年 2 月 17 日，查德威克给《自然》杂志写了一篇通信，题为《中子可能存在》，这时离约里奥-居里夫妇的论文发表不到一个月。

接真空泵

α 粒子

钋源

中子

石蜡

质子

接放大器

示波器

图 9 – 11 查德威克的实验装置

接着，查德威克在《英国皇家学会通报》上发表了题为《中子的存在》一文，详细报告了实验结果及理论分析。他首先证明高速质子流并非来自石蜡之类的含氢成分，因为即使不含氢的材料也会产生高速质子流，因此这里面必有蜕变过程。再用吸收法测质子的能量，结果约为 5. 7 MeV。根据能量守恒定律推算，铍辐射如果是 γ 射线，γ 光子应具有能量 55 MeV。用同样的铍辐射轰击氮，推算氮原子的反冲能量最大为 0.45 MeV。但实验得到的却是 1.2 MeV，不满足能量守恒定律。查德威克在论文中写道：

“显然，在这些碰撞过程中，我们要么放弃应用能量与动量守恒，要么采用另一个关于辐射本性的假设。如果我们假设这一辐射不是量子辐射（即 γ 光子），而是质量与质子几乎相等的粒子，所有这些与碰撞有关的困难都会消除。”[[2]](#footnote-2)

查德威克进一步用云室方法测定中子的质量，结果是与质子的质量非常接近。再根据质谱仪的数据推算，得到中子质量的精确值为 1.0067 原子质量单位。各方面的事实确凿证明了中子的存在。

查德威克这样快就取得如此全面的结果，固然是与其有准备的实验研究有关系，也和卡文迪什实验室整个集体的支持分不开。卢瑟福自不待说，其他成员，包括年轻的研究生和来自各地的研究人员也大力相助，发挥了集体的智慧和力量。当时，卢瑟福的亲密同事，前苏联物理学家卡皮察曾组织过一个“俱乐部”，每周定期聚会，交流工作中的问题和体会。查德威克有关中子的设想也常向与会者报告。所以在卡文迪什实验室里大家对中子的存在早已没有怀疑。大家从各个角度协助查德威克寻找中子的证据，这就大大促进了中子实验的进程，使查德威克迅速由“中子可能存在”转变为“中子肯定存在”。

### 9.6.5 中子发现以后

中子的发现引起一系列的后果，主要有三方面：第一是为核模型理论提供了重要依据，从此核物理学进入了一个崭新的阶段；其次是激发了一系列新课题的研究，引起一连串的新发现，其中最重要的是：人工放射性、慢中子和核裂变；第三是打开了核能实际应用的大门。中子的发现证实了卢瑟福的判断，原子核中有中性粒子，然而这种中性粒子并不是卢瑟福想象的那样，是质子和电子复合组成的双子，它也不能转变为质子和电子，而是一种稳定的粒子。于是代替原先质子-电子核模型的，是质子-中子核模型。

其实在中子发现以前，就有一位意大利物理学家叫马觉朗拉（Majorana）的，有过质子-中子核模型的想法，不过当时文章没有发表，因为他觉得还不太有把握。

1932 年 4 月 21 日，在查德威克的通信发表后不久，伊万年科（Д.Д.Иване́нко，1904—1980）向《自然》杂志提交一份极短的评论，提出“电子不可能以独立的粒子存在于核中，核仅仅由质子和中子组成。”早在 1930 年，他就和安巴祖米安（Ambarzumian）在《法国科学院学报》联名发表过电子不可能在核中存身的思想。

1932 年 6 月，海森伯也提出类似的思想。他针对核的组成写了一系列论文，为以后建立核的各种模型奠定了理论基础。

1. Rutherford E.Proc.Roy.Soc.，1920（A97）：374 [↑](#footnote-ref-1)
2. Chadwick J.Proc.Roy.Soc.（London），1932（A136）：692 [↑](#footnote-ref-2)