



查德威克像

查德威克和中子的发现

郭奕玲

查德威克是卢瑟福的学生，1891年生于英国的曼彻斯特市。1911年在曼彻斯特大学毕业后，留校在卢瑟福实验室研究放射性，1913年获硕士学位，随即得奖学金赴柏林向卢瑟福的合作者盖革学习，在那里正遇上第一次世界大战爆发，他被作为战争囚犯关押起来，但在监禁期间他仍设法搞起了一个小研究实验室。1919年查德威克回到英国，随卢瑟福来到卡文迪许实验室，协助卢瑟福完成人工核蜕变的实验研究。1923年当上了卡文迪许实验室助理主任，是卢瑟福的主要助手和合作者。查德威克对科学作出过许多贡献，早在1914年，他就发现了 β 射线的连续谱。1935年由于发现中子荣获诺贝尔物理学奖。

1932年是近代物理学史上又一个激动人心的年份。尤里在年初宣布发现了氢的重同位素——氘；考克劳夫特与沃尔顿发明电压倍加器，实现了人工核蜕变；劳伦斯改进了他的回旋加速器，获得了能量为1百万电子伏的质子，也在今年实现了人工核蜕变；与此同时，安德森发现了正电子；查德威克发现了中子。人们从各个方面向原子核领域进军，一门崭新的学科——核物理学诞生了。物理学从此又进入了一个新的时期。在这一连串的丰硕成果中，中子的发现具有最为深远的意义，因为它像一把钥匙，打开了原子核的大门。

卢瑟福的中子假说

查德威克发现中子不是偶然的事件。他是在卢瑟福的中子假说指导下，经过多年的努力，反复试验、多方探索才取得成功的。早在1920年，卢瑟福就在著名的贝克尔演讲(Bakerian Lecture)中阐述过他的思想。

“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(doublet)。这样的原子也许有很新颖的特性，它的外场也许实际为0，除非特别靠近原子核。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。”

卢瑟福关于质子和电子紧密结合会产生中性粒子的预言，是经过深思熟虑的，因为从元素的质量数A(原子量)与核电荷数Z(原子序数)，人们不得不假设在核中有A个质子和(A-Z)个电子，而电子只有跟质子结合，才有可能在原子核内长期呆下去。

为了检验卢瑟福的假说，卡文迪许实验室从1921年就开始了实验工作。查德威克在卢瑟福的指导下，更是目标明确，前后十二年的摸索，经历了许多曲折，终于成功。要了解这段曲折的历程，最好读一读查德威克本人在发现中子30年后所作的回忆。

查德威克的回忆

1962年，查德威克在一次科学史讨论会上应邀作了报告。他回忆往事时讲道：

“在1920年6月作贝克尔演讲后几个月，卢瑟福邀我参加氮的人工嬗变实验。……就在等待计数(的空闲时间里)，他向我详细阐述了他对核结构的观点，特别是如果基本粒子中只有质子和电子，复杂核的构成将有多大困难，所以需要引入中子。他坦率地承认这些多是纯粹的猜想。他忌讳没有实验根据胡乱猜想，所以除非在私下，很少谈论这件事。……但他没有放弃这个看法，并且把我说服了。在这以后的年代里，有时我们一起，有时我自己一人做实验来找中子的证据，寻找它的形成和从原子核发射的证据。我来讲讲这些尝试中值得提到的几个，……”

“卢瑟福在贝克尔演讲之后不久，请格拉森在氢气中放电时寻找中子的产生，不久，罗伯兹也做了类似的实验。他并不指望用这种方法会出现中子的证据，但实验还是做了。在这些实验中氢的质量和所用电压都是不足道的。”

“观察正常状态下的氢，尽管它表面上很稳定，在我看来并不是一点没有理由。既然质子和电子的紧密组合是可能的，它一定是自发地进行的。这样组成的中子在宇宙辐射的作用下，也许会重新分裂。1923年得到卢瑟福的赞同，我尝试在大质量的氢化材料中检测 γ 辐射的发射，用游离室和点计数器作为检测手段。”

“几年后，1928年盖革和缪勒设计出了现在普遍

称为盖革计数器的仪器，可以大大增加检测 γ 辐射的能力。盖革好意送给我两只新计数器，和制作计数器的指示书。卢瑟福和我立即用这种新仪器重复氢的实验。我们想尽各种办法，希望找到中子的踪迹。我们还用同样的方法检验某些稀有气体，以及任一种能够到手的稀有元素，或许会有形成中子和发射中子的任何信号。我只一般地说说这些实验，因为有些实在太荒唐了。”

“在我初步如此尝试之后，我考虑到中子只有在强电场中形成或存在的可能性，还考虑到用快速质子打入原子，也许能找到某些证据，特别是原子数大的原子，那里电子也许束缚得很紧。在给卢瑟福的一封信中，我写道：‘我想，我们应对中子作一番真正的研究，我相信我有了一个可以付诸计划的计划……’，我想至少需要200000伏来加速质子。没有合适的变压器可用，尽管卢瑟福颇有兴趣，却没有钱用在这样庞大的计划。……这一想法我坚持了一、二年，在其它工作的间隙中，我尝试找到一种方法把忒斯拉线圈产生的电压用于加速放电管中的离子。我没有合适的设备，对此我也缺乏经验。我浪费了时间，倒没有浪费实验室的钱。”

“在我们用 α 粒子使轻元素嬗变的工作中，卢瑟福和我并没有忘记发射中子的可能性，特别是那些不发射质子的元素。我们寻找会不会有不受磁场偏转的辐射引起微弱的闪烁。几年之久，我们在1929年才发表唯一的一篇文章，特别提到研究中子的这种方法。”

“铍的情况令人感兴趣有两个原因。在 α 粒子轰击下它不发射质子；再则，尽管是错误的说法，铍据说含有大量的氦，说明也许Be核在宇宙辐射的作用下分裂成了两个 α 粒子和一个中子。”

“这件事断断续续地好几年勾引了我的兴趣。我用 α 粒子轰击铍，又用 β 粒子和 γ 射线轰击，一般都用闪烁法来检验有何效果。在那些日子里，这是唯一有多种用途的方法。……我曾尝试设计合用的电计数方法，但失败了。后来，放大方法由格莱纳奇发展了，威廉斯用之于卡文迪许实验室。我也做成了钋源，量虽小，用于这个目的是足够的了。和康斯泰伯与波纳德一起，我又一次对铍进行了观测。经过短暂却令人兴奋的时间，我们认为已经发现了中子的某些证据。但是不知何故，证据又消失了。我仍在黑暗中摸索。”

“中子的最初指示在韦伯斯特的的工作中到来了，他用 α 粒子撞击铍，激起了 γ 辐射。我对这件用 α 粒子轰击轻元素激发 γ 辐射的工作已有心多年。贝斯丁曾试图做这个实验，但失败了，因为钋源太弱，检测仪器静电计太不灵敏。当盖革计数器能用上时，韦伯特斯抓起了这项研究，但他最初的努力并不很有价值，——我仍缺少钋。”

“由于费瑟博士的好心协助，这一缺欠得到了克

服。……我得到了对我来说大量的镭D和其产物钋。这一馈赠不仅立即有了巨大价值，而且对以后也如此。”

正当查德威克作好了进一步实验研究之际，柏林的玻特和巴黎的居里-约里奥夫妇相继发表了他们的引人注目的结果。

穿透力极强的中性射线

玻特是德国著名物理学家，曾在盖革的研究所里工作，化了很大力气研究盖革发明的电计数器，用之于探测微观粒子，有效地代替了闪烁计数法，使核物理研究方法获得很大改进。从1928年起，玻特和他的学生贝克尔(图1)用钋的 α 粒子轰击一系列轻元素，发现 α 粒子轰击铍时，会使铍发射穿透能力极强的中性射

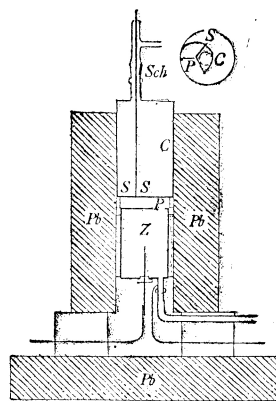


图1 玻特的实验装置

线，强度比其它元素所得要大过十倍。用铅吸收屏研究吸收率证明这种中性辐射比 γ 射线还要大。1930年，玻特和贝克尔率先发表了这一结果，并断定这种贯穿辐射是一种 γ 射线。

在巴黎，居里实验室的约里奥-居里夫妇也正在进行类似实验。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放射源与游离室之间(图2)，发现计数激增。用磁场可使石蜡发出的射线产生微小偏转，经过比较，证实这射线是质子流，速度很高。他们和玻特一样，把铍辐射看成 γ 射线，把质子流的产生看成是 γ 粒子对氢离子撞击的结果(类似于康普顿效应的一种特殊现象)，就这样，约里奥-居里夫妇错过了发现中子的极好机会，对实验作出了错误的解释。他们既没有卢瑟福和查德威克关于中子的物理思想，也没有认真核算： γ 粒子(即光子)有没有可能打出高速质子；高速质子的动量和能量是如此之大，靠 γ 粒子撞击就能作反冲运动，是否符合能量与动量守恒，跟别的实验结果是否有矛盾。后来，约里奥-居里夫妇回忆说：如果他们读过并且体会1920年卢瑟福的演说，肯定会对这个实验的意义有真正的理解。

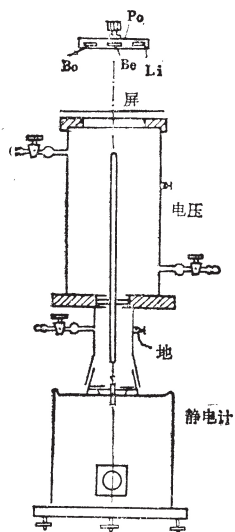


图2 居里-约里奥的实验装置

测,对解释则是另一回事。”

据说,当时罗马有一位善于讽刺的青年物理学家,当他读到居里-约里奥的论文时说:“傻瓜!他们发现了中性质子,却不承认它!”

发现了中子

约里奥-居里夫妇的实验对查德威克有极大的启发,“正好这时我已准备好开始实验,因为我已备制了漂亮的钋源。我以客观的态度开始实验,自然我的思想还是放在中子上。我有理由相信,居里-约里奥的观测不应属于某种康普顿效应,因为我不止一次探索过它。我相信一定有什么新的内容。几天紧张的工作,就足以证明这些奇异效应是由于一种中性粒子。我还测出了它的质量。卢瑟福1920年假设的中子终于出现了。”

1932年2月17日,查德威克写信给《自然》(Nature)杂志,发表了的结果,这篇通信的题目叫《中子可能存在》,离居里-约里奥的文章不到一个月。

接着,在《英国皇家学会通报》上又发表了题为:《中子的存在》一文,详细报告了实验结果及理论分析。图3就是该文中的插图,描述了当时所用的实验装置。图中左侧是放射源。Po 辐射出的α粒子打到Be上,使Be发出中性粒子。这些粒子进入右侧的游离室,产生游离作用,电信号经放大器放大,送到示波器即可被观测出来。

查德威克的实验内容大致如下:

(1) 检验辐射成份。为了考察居里-约里奥的高速质子的起因,查德威克选了许多轻元素置于游离室的窗口或灌入游离室中,令Be发出的中性辐射向它

对于约里奥-居里夫妇的新实验结果和他们的解释,查德威克回忆道:

“一天早晨,我读到居里-约里奥在《通报》(Comptes Rendus)的文章,上面报告了铍辐射的极其惊人的特性,……不一会儿,我告诉了卢瑟福。每天上午11点我总要见他,告诉他有趣的新闻,讨论实验室工作进展。当我告诉他居里-约里奥的观测和他们的看法时,我看到他突然焕发出一种惊奇的神情,喊道:‘我不相信!’在我跟他长期共事中,我从未见过类似的情形。……当然,卢瑟福赞成要相信观测

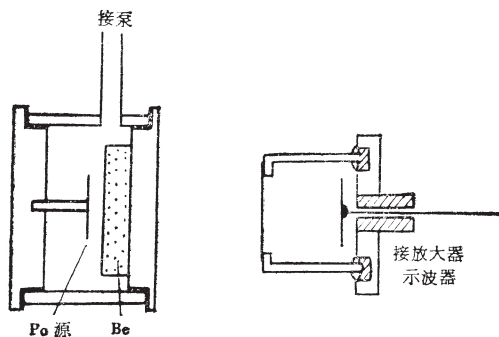


图3 查德威克的实验装置

们轰击。所有这些样品一件一件进行试验,结果发现都会产生高速质子流。证明高速质子流并非来自石蜡一类辐照物的含氢成份,即使不含氢的材料也会产生高速质子流。由此可见,其中必有蜕变过程,不是康普顿效应那样的散射过程。

(2) 检验碰撞的能量关系。查德威克也用吸收法测质子的能量:在石蜡与游离室之间放置不同厚度的铝吸收片,作吸收曲线,从而测得质子的能量约为5.7 MeV。根据能量守恒定律推算,铍辐射如果是γ射线,光子应具有能量55MeV。用同样的铍辐射轰击氮,推算氮原子的反冲能量最大为0.45MeV,但实验得到的却是1.2MeV,不满足能量守恒定律。可见,不能用光子与粒子的碰撞来解释这一过程。

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。……”

于是,查德威克就假定铍辐射是卢瑟福预言的中子。

(3) 用云室测中子质量。将氮气充入云室,从云室观测到氮原子在铍辐射(中子)轰击后的反冲速度为 4.7×10^8 厘米/秒,与同样的铍辐射轰击石蜡得到的质子速度 3.3×10^9 厘米/秒进行比较,可以求得铍辐射的粒子质量:“设中子的质量为M,速度为v,则

$$\text{氢原子的最大速度为 } u_p = \frac{2M}{M+1} \cdot v$$

$$\text{氮原子的最大速度为 } u_n = \frac{2M}{M+14} \cdot v$$

所以

$$\frac{M+14}{M+1} = \frac{u_p}{u_n} = \frac{3.3 \times 10^9}{4.7 \times 10^8}$$

得:

$$M = 1.15.$$

查德威克由此得出结论:“反冲氮原子的速度估计误

差很容易达 10%，所以，认为中子的质量与质子的质量非常接近是合理的。”

查德威克进一步根据质谱仪测得数据推算出中子的精确质量为 1.0067（原子质量单位），并对中子的性质进行详尽的分析，以确凿的事实证明中子的存在。

查德威克这样快就取得这样重大的成果是和卡文迪许实验室整个集体的支持分不开的。当时，卢瑟福的亲密同事，苏联物理学家卡皮查曾组织过一个“俱乐部”，每周聚会，交谈工作中的问题和体会。这一天，正好查德威克做了有关铍辐射的实验，对中子的存在还没有完全把握，他把实验情况和自己的想法向大家谈了。关于中子的认识在卡文迪许实验室里早已尽人皆知，没有人怀疑。这时七嘴八舌地议论了近一个小时。有的建议用云室，有的提供质谱仪的新近情况，有的自告奋勇协助查德威克。……这大大地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。”

从以上这段关于发现中子的历史可以看出，科学上的重大成果往往是许多人共同努力的结果。玻特和约里奥-居里夫妇虽然失去了发现中子的机会，但他们还是作出了自己的贡献，为查德威克提供了事实和经验。而查德威克高明之处在于，能洞察这些事实和经验的本质，认真地加以检验，取其精华，去其粗伪。他之所以能做到这一点，当然是和他在卢瑟福的中子假说指导下，长期进行探索，具有充分的思想准备和技术准备分不开的。而卢瑟福的中子假说，又是总结了多年来原子核研究的实践，根据遭遇到的矛盾提出来的，它为实验研究指明了方向。