

# 劳伦斯和 回旋加速器的发明

郭奕玲

核物理学的诞生揭开了物理学发展史中崭新的一页。

各种加速器的发明对核物理学的发展起了很大的促进作用，而劳伦斯回旋加速器则是这类创造中最有成效的一项。从三十年代起，以劳伦斯不断革新回旋加速器的活动为代表，物理学转入了大规模的集体研究，仪器设备越来越复杂，物理学家越来越多地参加有组织的研究工作，物理学与技术的关系也越来越密切。

美国物理学家劳伦斯 (E. Lawrence) 顺应这一形势，走在时代的前列。他以天才的设计思想、惊人的毅力和高超的组织才能，为原子核物理学和粒子物理学的发展作出了重大贡献。

## 劳伦斯的生平

劳伦斯 1901 年出生于美国南达科他州南部的坎顿 (Canton)。父母都是教师。早年就对科学有浓厚兴趣，喜欢作无线电通讯实验，在活动中表现出非凡的才能，聪慧博学，善于思考。他原想学医，却于 1922 年以化学学士学位毕业于南达科他大学，后转明尼苏达大学当研究生。导师斯旺 (W. F. G. Swann) 对劳伦斯有很深影响，使他对电磁场理论进行了深入的学习。获得硕士学位后随斯旺教授转芝加哥大学，在那里他预见著名的年轻物理学家康普顿 (A. Compton) 教授，他往往在康普顿的实验室里陪康普顿整夜地进行 X 射线实验。劳伦斯在 1925 年以钾的光电效应为题完成博士学位。在这期间，业余从事示波管做显像实验，如果不是有人捷足先登，说不定他会取得发明电视机的专利。他兴趣广泛，思路开阔，深得同行的赞许。康普顿后来回忆说：“他有非凡的天赋，能想出高招，使一些看来解决不了的问题迎刃而解。我们在实验室谈话的关系就象共同研究的同事，一点也不象教师与学生之间的谈话。”

劳伦斯在耶鲁大学继续研究两年之后，于 1927 年当了助理教授。1928 年转到贝克利加州大学任副教授。两年后提升，是最年轻的教授。在这里他一直工作到晚年，使贝克利加州大学由一所新学校成了核物理的研究基地。

在劳伦斯选择科研方向时，卢瑟福学派的工作吸引了他，使他了解到“实验物理学家的下一个重要阵地肯定是原子核。”但是，用镭辐射的  $\alpha$  粒子轰击原子核效果是有限的，因为能量不足，强度也弱。他深知出路在于找到一种办法，人为地使粒子加速，才能克服这些限制。

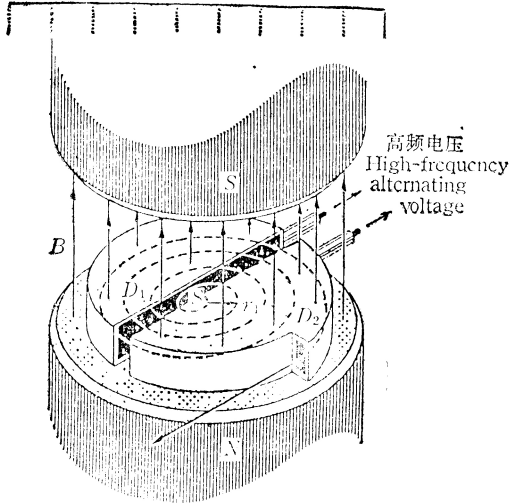
## 加速带电粒子的构思

1928 年前后，人们纷纷在寻找加速粒子的方法。当时实验室中用于加速粒子的主要设备是变压器和整流器，冲击发生器，静电发生器，忒斯拉 (Tesla) 线圈等等。这些方法全都要靠高电压，可是电压越高，对绝缘的要求也越高，否则仪器就会被击穿。正在劳伦斯苦思解决方案之际，一篇文献吸引了他的注意，使他领悟到一种巧妙的方法来解决这个矛盾。他后来在诺贝尔物理奖的领奖演说中讲到：

“1929 年初的一个晚上，当我正在大学图书馆浏览期刊时，我无意中发现在一本德文电气工程杂志上有一篇维德罗 (Wideroe) 的论文，讨论正离子的多级加速问题。我读德文不太容易，只是看看插图和仪器照片。从文章所列各项数据，我就明确了他处理这个问题的一般方法，即在联成一条线的圆柱形电极上加一适当的无线电频率振荡电压，以使正离子得到多次加速。这一新思想立即使我感到找着了真正的答案，解答了我一直在寻找的加速正离子的技术问题。我没有更进一步阅读这篇文章，就停下来估算把质子加速到一百万电子伏的直线加速器一般特性该是怎样。简单的计算表明，加速器的管道要好几米长，这样的长度在当时作为实验室之用已是过于庞大了。于是我就问自己这样的问题：不用直线上那许多圆柱形电极，可不可以靠适当的磁场装置，只用两个电极，让正离子一次又一次地来往于电极之间？再稍加分析，证明均匀磁场恰好有合适的特性，在磁场中转圈的离子，其角速度与能量无关。这样它们就可以以某一频率与一振荡电场谐振，在适当的空心电极之间来回转圈。这个频率后来叫做‘回旋频率’。”

右图就是劳伦斯回旋加速器的原理图。图中显示了置于真空室中的两个金属 D 形盒，两盒之间加以高

频电压,离子源  $S$  处于中心附近,均匀磁场垂直加于盒的平面. 由于盒内无电场,离子将在盒内空间作匀速圆周运动,只有在两盒间的空隙才受电场作用. 如果电场方向的改变正好与离子运动的周期合拍,就有可能在每次通过间隙时加速. 随着速度的增加,离子圆周运动的半径也将逐步加大,最后从窗口逸出.



在劳伦斯的演讲中还提到瑞典的一位伊星 (G. Ising) 教授,早在 1924 年就提出过多级加速离子的原理. 不过,劳伦斯开始并不知道他的工作,劳伦斯很谦逊地把他称为多级加速方法之父.

从以上这些情况可以看出,多级加速离子的构思早已形成,劳伦斯正是在他人的设计基础上创造出巧妙的回旋加速方案. 然而,劳伦斯不仅提出了切实可行的方案,更重要的是以不懈的努力实现了自己的方案.

### 不懈的努力

1930 年春,劳伦斯让他的一名研究生爱德勒夫森 (Nels Edliefson) 做了两个结构简陋的回旋加速器模型. 真空室的直径只有 4 英寸,其中的一个还真的显示了能工作的迹象.

同年 9 月,美国科学院在贝克利开会,劳伦斯在会上宣布了这一新方法,并向与会者展示了小模型. 会议的公报中写道:

“加州大学年轻的物理教授劳伦斯和他的合作者爱德勒夫森在这里向美国科学院年会报告的新实验,预告一种能产生高速原子入射粒子的产品已经在望. 这一高速入射粒子能够击碎黄金或其它元素的原子核,也许可以使之转变为其它物质或者释放出大量的原子能.”

随后,劳伦斯又让另一名研究生利文斯顿 (M. S. Livingston) 用黄铜和封蜡作真空室,直径也只有 4.5

英寸,但这个“小玩意儿”已具有正式回旋加速器的一切主要特征. 1931 年 1 月 2 日,在这微型回旋加速器上加不到 1 千伏的电压,可使质子加速到 80000 电子伏,也就是说,不到 1 千伏的电压达到了 8 万伏的加速效果. 这次实验标志了回旋加速器的成功.

1932 年,劳伦斯又做了 9 英寸和 11 英寸的同类仪器,可把质子加速到 1.25 兆电子伏 (MeV). 正好这时,英国卡文迪许实验室的考克拉夫特和瓦尔顿用高压倍加器作出了锂 (Li) 嬗变实验. 消息传来,人心振奋,劳伦斯看到了加速器的光明前景,更加紧工作,不久就用 11 英寸回旋加速器轻而易举地实现了锂嬗变的实验,验证了考克拉夫特和瓦尔顿的结果. 这次实验的成功,显示了回旋加速器的优越性,使科学界认识到它的意义,同时也大大增强了劳伦斯等人对自己工作的信心.

一个胸无大志的人到此也许就停步不前了. 而急于求成者则可能用自己的仪器抢先进行各种实验. 但是,劳伦斯宁可把科学实验的各种项目留给别人去做,自己再继续往前走. 他不满足于 1 兆电子伏的能量. 他认为,要真正实现古代“点金术”的幻想,仅仅能使轻核进行人工嬗变是远远不够的,这不过是给科学知识增添了一些重要内容,而要实现重核嬗变,就要求入射粒子具有高得多的能量. 只有建造规模比 11 英寸直径大得多的回旋加速器,使能量达到好几兆电子伏或者更高才行.

于是他 and 利文斯顿以更大的规模设计了一台 D 形电极直径为 27 英寸的机器,准备加速到 5 MeV 能量. 这时氘已经被尤里 (Urey) 发现,劳伦斯可以用氘核作为入射粒子,以获得更佳效果. 因为氘核是由一个质子和一个中子组成的复合核,氘核在静电场作用下有可能解体,变成质子和中子. 而中子的穿透能力特别强,这样就可以利用回旋加速器产生许多重要的人工核反应.

可是,随着 D 形电极直径的增加,整套机器的复杂性和电磁铁的体积与重量都随之急剧增加,不好解决. 劳伦斯为此四出奔走,筹集资金. 事有凑巧,当劳伦斯在系务例会上汇报自己的计划时,电机工程系的富勒教授回忆起有一台 75 吨的电磁铁芯正搁在联邦电报公司的后草坪上,建议借来一用,这台电磁铁原为中国政府订购作巨型电弧无线电发报机用,在交货前改变主意取消了订单而闲置的. 该公司表示愿意无偿赠奉,这就给劳伦斯提供了一个有利条件,只要自己动手配制磁极和线圈,就可用于回旋加速器. 据说,光是励磁线圈就耗去铜线 8 吨.

27 英寸回旋加速器的运行带来了丰硕成果. 虽然由于盖革计数器本底较大而且没有规律,劳伦斯错过了发现人工放射性的机会,但在应用方面还是取得了相当重要的进展. 许多放射性同位素陆续在伯克利

发现。伯克利加州大学成了核物理的研究中心，并把生产出来的放射性同位素提供给医生、生物化学家、农业和工程科学家，以推广应用。

1936年，在劳伦斯主持下，27英寸的回旋加速器改装成37英寸，使粒子能量达到6 MeV；用它测量了中子的磁矩，同时产生出了第一个人造元素——锝(Tc)。

为了表彰劳伦斯发明回旋加速器的功绩，1939年诺贝尔物理学奖授予了他。不过由于第二次世界大战，直到1951年才举行颁奖仪式。

然而，劳伦斯仍不愿加速器停留在这个水平。他认为，在这个水平上工作，还远不足以发现微观世界的奥秘。所以新一代回旋加速器又在设计之中。

一台大型的回旋加速器，从设计、制作、安装、调试直到进行各项实验活动，都需要各种人才的分工协作，互相配合。劳伦斯在诺贝尔演说词中讲到：“从工作一开始就要靠许多实验室中的众多能干而积极的合作者的集体努力，”“各方面的人才都参加到这项工作中来，不论从哪个方面来衡量，取得的成功都依赖于密切和有效的合作。”

密切和有效的合作要有一个核心，这个核心就是劳伦斯。

例如，劳伦斯为了建造更大的回旋加速器，特意补充了一名年轻的无线电工程师诺恩(D. Sloan)作为研究生，专为新机器修建振荡器。新机器开动不久，他又补充了一位年轻的博士后研究学者库里(F. N. D. Kurie)，让他发挥当研究生时学到的威尔逊云室技术。后来认识到盖革计数器对研究放射性有重大意义，就找到一位叫库克塞(C. D. Cooksey)的专家来领导这项工作。随着加速器体积的增大，劳伦斯认识到需要电气工程的专家，就聘请布洛贝克(W. Brobeck)来填补这一缺额。一批批志愿的“博士后”研究学者汇集在伯克利加州大学。劳伦斯发挥自己的组织才能把各种专门人才的聪明才智纳入回旋加速器这个大规模的集体项目之中。在他的周围迅速形成了一支特殊的加速器专家队伍。

### 丰硕的成果

由于有了工程师布洛贝克的精心设计，1939年建成的60英寸回旋加速器以工艺精良的面目问世。用这台机器发现了一系列超铀元素(原子序数大于92的重元素)。为此，加州大学辐射实验室的麦克米兰(F. M. McMillan)和西博格(G. T. Seaborg)于1951年荣获诺贝尔化学奖。

1939年又设计了一台184英寸的大型回旋加速器(估计质子能量可达100 MeV)，后由于第二次世界大战停建。1945年麦克米兰建议用同步方法进行稳相(这个方法与几个月前苏联物理学家维克斯勒的方案

不谋而合)。根据这一原理重新设计了加速器，麦克米兰称之为同步加速器(或称稳相加速器)。1949年，麦克米兰利用战前做好的巨型电磁铁，建成了184英寸的电子同步加速器，能量达330 MeV，用它产生了第一批人造介子。质子同步加速器则于1954年完工，能量接近6.4 GeV，用它产生了质子-反质子对。西格雷(E. Scgrè)和张伯伦(O. Chamberlain)由于发现反质子，获1959年诺贝尔物理学奖。此外，卡尔文(M. Calvin)用 $^{14}\text{C}$ 作示踪原子，研究光合过程于1961年获诺贝尔化学奖；1968年，阿尔瓦雷兹(L. W. Alvarez)又因发明氢气泡室及基本粒子的研究得诺贝尔物理学奖。

1958年劳伦斯因病去世，终年57岁。为了纪念他，将伯克利加州大学辐射实验室改名为劳伦斯辐射实验室。他一生为回旋加速器奋斗不息，虽然他自己没有直接作出科学发现或者创立科学理论，但在他的领导和培养下或在跟他协作的过程中，许多人作出了重大贡献。1968年诺贝尔奖获得者阿尔瓦雷兹指出：“劳伦斯的影响的标志之一就是：我是他那实验室工作人员中第八个获得了最高荣誉诺贝尔奖的人。”

劳伦斯开创的加速器事业，取得了丰硕成果。