

# 迈耶夫人

赵继军 陈岗 刘树勇



对于居里夫人,绝大多数读者是很熟悉的。然而,继居里夫人之后半个世纪,又有一位女科学家获得诺贝尔物理学奖——她就是玛丽亚·戈佩特·迈耶。2006年恰逢迈耶夫人诞生100周年,我们回顾她的生平和她对科学事业的贡献是很有意义的。

## 迈耶夫人生平

玛丽亚·戈佩特·迈耶(Maria Goeppert Mayer, 1906~1972,即迈耶夫人,原名玛丽亚·戈佩特)出生于德国的上西里西亚地区(第一次世界大战后归属波兰)卡托维兹市的教授世家,前六代都是德国大学教授。她是父母的独生女。父亲弗里德里希·戈佩特(Friedrich Goeppert)是儿科医学教授,是家族的第六代教授,母亲玛丽亚·戈佩特(Maria Goeppert)在学校当老师。受家庭的熏陶与环境的感染,加上自幼聪明好学,虽然她同母亲比较亲近,但受父亲的影响却更大,对科学的热爱与日俱增。在她的父亲看来,心爱的女儿一定是家族的第七代大学教授。

1910年,小玛丽亚4岁时,父亲被任命为德国格丁根大学医学院儿科教授,全家迁居到格丁根市。格丁根这座历史名城成了她的第二故乡,也是她成长与学习的地方。她成长的年代,格丁根是以数学和物理学闻名的地方,“打起背包到格丁根去”是当时许许多多年轻科学家和学生的志向。她结婚前的大部分时光是在格丁根度过的。她曾在那里的私立与公立学校学习,受到一些良师益友的教诲……对她来说,这次搬迁很幸运,因为这所大学的物理系当时正在变成促进新物理学(即现代物理学)发展的活动中心。这里聚集了许多著名物理学家,理论物理学领域的马克斯·玻恩(Max Born, 1882~1970)及实验物理学领域的詹姆斯·弗朗克(James Franck, 1882~1964)这样的著名学者就在此工作(这两个人后来都获得了诺贝尔物理学奖)。

1921年她进入弗劳恩施特迪姆(Frauenstudium)中学,这是一所私立学校,宗旨是要让女孩子们通过格丁根大学入学考试。当时,要让格丁根大学录取一名女学生是相当困难的。玛丽亚刻苦攻读,两年后即参加入学考试。1924年,她以优异成绩考取了格丁根大学。由于当时格丁根大学数学师资力量雄

厚,加之她的兴趣,因而主攻数学。那时,物理学研究正经历着天翻地覆的变革。因此,她在大学三年级旁听了玻恩的讲课后,深受影响,感到理论物理学前景广阔,更富有魅力,于是改修理论物理学。由于学习勤奋、进取心强,成绩一直名列前茅。她还到英国剑桥大学学习过一个学期,短短的几个月里,她不仅掌握了本专业的知识,还学会了英语,为她以后的研究工作创造了有利条件。

1930年,玛丽亚在玻恩和弗朗克的指导下,完成了原子结构(量子力学)博士课程,通过了博士答辩,答辩委员会竟然有三位著名物理学家——玻恩、弗朗克和温道斯。玛丽亚这篇论文主要是计算了两个光子同时发射或吸收的几率。计算结果表明,这一几率如此之小,其效应当时实际上是观测不到的。不过用上强大的激光束后,这一现象得到证实,并与理论基本相符。多年后,维格纳(Eugene Paul Wigner, 1902~1995)评论说,这是一篇“明了而具体的杰作”。

1930年,她与同校正在从事研究工作的美国洛克菲勒基金会资助的年轻物理化学家约瑟夫·迈耶(Joseph Mayer)结婚。婚后不久,约瑟夫·迈耶受聘为美国马里兰州巴尔的摩市约翰·霍普金斯大学化学副教授。1931年,玛丽亚与丈夫一起赴美,在约翰斯·霍普金斯大学工作。3年后,玛丽亚加入了美国国籍。惠勒(John A. Wheeler, 1911~)在约翰·霍普金斯大学时,正好遇到新婚的迈耶夫人在此教学。惠勒回忆说,迈耶夫人上课时与同学们围坐在桌旁,边读玻恩的量子理论新书,边讨论,这使惠勒感到“令人振奋”。后来惠勒在芝加哥参加曼哈顿工程时又与迈耶夫人共事,并“折服于她的能力”。惠勒说:“虽然她在大部分专业生涯历程里都受到不公平对待,却总是维持愉悦的态度,并活跃于理论物理学界。”

1939年,他们全家迁到纽约。1941年12月8日(日本偷袭珍珠港的第二天)迈耶夫人获得来到美

国后的第一个教师职位,在纽约州布朗克斯维尔的萨拉·劳伦斯学院教数学和物理学。1943~1944年,她应尤里之请,赴哥伦比亚大学从事战争研究。这是有关SAM(代用合金材料)的绝密工作,其任务是从储量比较丰富的铀238中提炼出铀235。

1946年,费米、尤里、泰勒和约瑟夫·迈耶在芝加哥大学一个新成立的核研究所任职,实验装置安放在附近的国立阿尔贡国家实验室内。迈耶夫人被任命为志愿副教授,后来成为正教授和研究所成员,一面在物理系任教,一面在该校刚刚成立的核研究所从事研究工作。此外,她还应美国阿尔贡国立实验室的聘请,在该室搞核物理研究。核物理对她虽然是一门新的学科,但她能以坚强的意志和锲而不舍的精神钻研,很快熟悉和掌握了这门专业知识。正是在这里,她创立了原子核壳层理论的概念,后来因此获得了诺贝尔物理学奖。

1959年,加利福尼亚大学在圣地亚哥的新校园任命迈耶夫人为物理学教授,她的丈夫约瑟夫·迈耶为化学教授,都是全薪正教授。1960年,迈耶一家赴加利福尼亚大学任教。他们到达后几个星期,发生了一起车祸,使迈耶夫人的健康受到极大影响,身体恢复得相当缓慢。

1972年2月20日迈耶夫人在圣地亚哥逝世,享年66岁,她是继居里夫人之后的第二位获得诺贝尔物理学奖的女物理学家,并且是历史上第一位获得诺贝尔物理学奖的女性理论物理学家。迈耶夫人不仅在原子核结构研究上有重大建树,而且在固态理论、统计物理,尤其在相变理论研究方面也做出了举世瞩目的贡献。

她是美国科学院、海德堡科学院、美国艺术与科学院和美国物理学会会员。她还被拉塞尔奇学院、蒙特霍尔尤克学院和史密斯学院等六所大学授予名誉博士学位。

### 迈耶夫人对核壳层结构模型的研究

正如原子模型的建立是原子物理学史的最重要环节一样,原子核模型的建立也是原子核物理学发展中的最重要环节。

几十年来,在研究原子核的结构时,核物理学家遇到的一个重大挑战,就是把原子核作为一个强相互作用粒子的多体系统去探索。他们希望通过核的组成粒子的运动去了解核的结构和建立核的动力学理论,探讨制约这些粒子运动的基本相互作用力。

为此,他们在实验方面通过核谱学进行各种核反应的分析、归纳、推理,在理论方面则构思各种简化的数学模型来使复杂的多体问题变得容易处理。

导致壳层结构发展的一个主要动因是存在着所谓的幻数。在20世纪30年代,人们发现,在一些原子核中,当质子数或中子数是所谓的“幻数”2、8和20之一时,它们都将会各自构成特别稳定的系统。1933年,哈金斯(Harkins)和埃尔萨塞(Elsasser)又发现28、50、82和126幻数的存在,并对这些幻数进行了最早的测量和分析。这些幻数跟元素的周期性非常相似,所以显得如此奇妙,以这些幻数的中子或质子构成的组态与其他核相比,通常显得更稳定,而原子的壳层结构理论正是建立在这一事实基础之上的。

然而,最初的尝试却是失败的,人们从核子的运动求解薛定谔方程,却得不到与实验相符的幻数;再加上与壳层模型截然相反的液滴模型已取得相当的成功,使人们很自然地壳层模型采取否定态度。

迈耶夫人对核稳定性和核模型的研究起因于宇宙起源的“小爆炸”理论,该理论是她和泰勒(E. Teller)约在1945年为了解释元素和同位素的丰度而提出来的。1946~1947年间,在芝加哥大学进行核物理研究的迈耶夫人在泰勒的指导下,进行有关元素起源的研究,并且研究相关的宇宙模型。她在检验上述模型所需要的各种数据时,开始分析相应的元素丰度,注意到其中的某些规律性,并且使得她对幻数感到迷惑。她与泰勒发现,一些原子核拥有的同位素不仅远多于他们的理论所能解释的,而且含量丰富。这些原子核具有某些共性:高丰度元素拥有82个中子或50个中子。82和50都是“幻数”。这意味着稳定性必然在元素产生的过程中扮演了重要角色。

迈耶夫人很快获悉,埃尔萨塞早已在1933年做出类似的观察结果,于是认真阅读了他的相关文章。但是与埃尔萨塞不同,此时的她拥有更多的可利用的资料,除了元素的丰度,她还研究了与幻数有关的原子核结合能、自旋和磁矩,发现越来越多的证据表明这些幻数在某些方面非常特别,对于了解核结构具有重要意义。它们暗示核内有稳定的“壳层”的概念,类似于原子稳定的电子壳层的结构。但当时流行的观点认为核的壳层结构是不可能的,因为同约束原子中电子的长程库仑力相比,核力是短程力。

尽管如此,迈耶夫人并未放弃核壳层结构的想

法,坚持为壳层结构寻找更多的证据,像核的 $\beta$ 衰变和四极矩等,并尝试按照核粒子的量子力学去寻求解释。这时,费米对幻数产生了兴趣,她有幸自始至终都与他一起工作。她受到费米的极大鼓励与支持,并同他一起进行了许多有益的讨论。她还得到了来自丈夫的有力支持和帮助。他们志同道合,他总是从化学家的角度给她以及时的指导——从某种意义上看,对于这类现象,一个化学家的知识要比一个物理学家实用得多。她所面临的有关核特性规律性的分类与化学性质的分类极其相似,后者导致了经典的化合价理论的发展,而前者的基本解释存在于泡利不相容原理之中。

一天,迈耶夫人正在同费米讨论问题,碰巧费米要去接一个长途电话而需要暂时离开迈耶夫人的办公室,就在门口他转回头来问道:“存在自旋与轨道耦合的相互作用吗?”这个问题是研究幻数的人所未考虑过的。正是在费米的这一启发下,凭借着迈耶夫人很好的数学和量子力学基础,特别是当时物理学家尚不熟悉的转动群理论,迈耶夫人在平均场中引入较强的自旋-轨道耦合,具有这种耦合作用后的核壳层模型,利用核力引起的能级分裂,计算出了与实验相符的结果。这样,只用了不到十分钟,当费米返回办公室时,就迅速成功地解释了全部幻数的存在。

她继续用数学方法,详细证实了上述想法。她所引入的平均场就是普通谐振子阱和方阱,只是计入了强自旋-轨道耦合力,它引起单粒子能级分裂,由此得到了单粒子的能级。她的结果与现今的全同粒子能级图非常相似。迈耶夫人所引入的自旋轨道耦合力,虽然当时从理论上还无法进一步解释,但是这一假定为以后的核力研究确定了正确方向。并且,她还成功地证明了如何用平均场描述核子间的短程作用,从而解决了早期核壳层模型所遇到的难题。迈耶夫人指出,由于泡利不相容原理的限制,在平均场中,核子依次填充低能态,对大部分核子,特别是满壳层的核子,由于它们周围的能态已经被其他核占据,只要它们之间的剩余相互作用不足以使它们跃迁到未被占据的高能态上,它们就能在相互作用之后仍然留在原能态上,使其剩余相互作用无法表现出来,所以这些核子之间的短程相互作用可以用平均场来描述。而对满壳层外的核子,迈耶夫人又假定,它们之间的剩余相互作用主要使质子或

中子两两匹配成对,其总角动量为零,这样,原子核的自旋和磁矩便由最后一个奇核子决定。

与此同时,德国海德堡大学的物理学家汉斯·詹森(J. Hans D. Jensen, 1907~ 1973)与哈克塞尔(Otto Haxel)和休斯(Hans E. Suess)共同提出了“核壳层模型具有自旋-轨道耦合特性”的理论。这一理论与迈耶夫人的发现不谋而合。当她获悉从未见过面的詹森等人也同时给出了相同的解释时,她更加确信这种壳层模型解释的用处。

当时,迈耶夫人和詹森并不认识,直到1950年她访问德国时才见面。为了开展更全面的研究,她和詹森从1950年开始合作,共同研究核壳层结构,并总结出他们的研究成果。这种合作使他们相得益彰,加速了研究进程。1955年,他们合写了《核壳层结构的基本理论》(*Elementary Theory of Nuclear Shell Structure*)一书。迈耶夫人和詹森合作证明了这些幻数是如何与壳层模型中具有最大稳定性的核相对应的,他们成功的关键是在势阱中加入了自旋-轨道耦合项,核子在按壳层排列的轨道上运动,其自旋方向与它绕中心旋转的方向相同或相反时,能量是不同的,而且每个核子的自旋和轨道角动量之间存在强大的耦合,因此总有使这两种矢量趋向于平行的趋势。他们还证明了幻核及它们的近邻核应该具有的特殊行为,幻核俘获慢中子的概率较小。他们还预言了核的角动量值,及人们应该能在大值区域发现大量的核的同质异能素。后来,实验证实了他们的这些预言。核壳层结构的基本思想是:原子核内部的核子(质子和中子)和原子核外的电子一样,也存在壳层结构。当原子核中的核子数是幻数时,它们就正好填满一个完整封闭的壳层。每个幻数表示每一壳层所能容纳的最大核子数。具有幻数的原子核显得特别稳定,就像存在满壳层电子的惰性气体化学性质特别稳定一样。这本书是他们研究工作的结晶,也可以说是他们在核物理学领域中建立的一座丰碑。

核壳层模型不仅成功地解释了原子核的幻数,而且对中子数和质子数都为偶数的原子核与都为奇数的原子核来说,由壳层模型得到了这些核的基态和宇称与实验相符的结果。壳层结构能成功地解释原子核的许多基本性质,如磁矩、宇称以及许多原子核低激发态等现象。

由于壳层模型是在粒子独立运动模型的基础

上,加之自旋和轨道角动量的强烈耦合,以及其他假设而成的。虽然它能解释许多现象,但它毕竟是唯象的模型。由于它把核子看成是一群互不相干的、独立运动的粒子,每个粒子只是在一个平均场中运动,这样势必对存在的多个核子可能的集体运动不能给出恰当的描述,对原子核集体运动所造成的各种运动形态和由此呈现的各种集体性也不能给予很好的说明。这些不足最终导致了核的集体运动模型的诞生。

为了表彰迈耶夫人和詹森在原子核结构研究方面的重要贡献,诺贝尔奖金评奖委员会将1963年物理学奖的一半授予迈耶夫人和詹森;另一半授予了在原子核与基本粒子研究上做出重大贡献的美籍匈牙利物理学家维格纳。瑞典皇家科学院诺贝尔物理学奖评奖委员会委员沃勒教授在授奖仪式上对迈耶夫人和詹森的研究成果给予了高度评价,他说:“戈佩特·迈耶和詹森教授在核壳层模型方面的研究成果,使人们对原子核结构有了新的认识。它标志着人类在原子核特性相互作用的研究上又取得了极为重大的进展。它将激励人们对原子核进行更深入、更广泛的研究。”在致词中,沃勒教授还对这两位获奖者说:“你们独立开始的、后来又合作进行的关于壳层模型的研究工作,重新解释了原子核的结构,并在核性质的相互关系中取得了非常惊人的进步。你们的工作激励着新的研究工作日益增强,而且对于后来原子核物理的实验和理论工作也是必不可少的。”

迈耶夫人在科学上取得如此卓越的成就决非易事。尽管迈耶夫人在科学研究方面表现出极高的才能,但她在职业经历方面并不顺利,而是随着迈耶先生的工作变动而变动。她的一生有坦途,也有曲折。她具有一切有造诣的名家大师那种百折不挠的气质,遇坦途不松劲,遭坎坷不气馁,在通往科学高峰的道路上总是勇往直前。当时,德国旧的传统势力还很顽固,女子上大学不是件容易的事。在她准备考大学时,德国又出现了通货膨胀,格丁根仅有的一所供女生准备考大学的私立中学也关了门。但她还是靠自己的努力于1942年实现了她早年的志愿。她在研究事业上也是屡遭挫折,备尝艰辛。初到美国时,正值大萧条时期,没有一个大学愿意录用她这位“教授的妻子”。有一段时间,她甚至找不到工作。搬到哥伦比亚大学后,她所在的S·A·M实验室主

任哈罗德·克莱顿·尤里对她也并不赏识,往往指派她研究一些次要课题。然而,这些次要的课题未能禁锢她的聪明才智。她不论做什么都全力以赴,做则必成。她正是靠这种永远拼搏的精神,摘取了荣誉的桂冠,成为与居里夫人齐名、蜚声世界的女科学家。

玛丽亚·迈耶热爱自己的事业,淡泊名利,获奖后曾经说过:“使我惊讶的是,获奖对我的刺激还不及进行研究工作本身的一半。眼看着工作搞成了一种乐趣!”

玛丽亚·迈耶除了研究、授课,还撰写了10多篇有关核物理学的文章,其中大半是论述壳型理论问题的。多年来,她始终是一位辛勤的园丁,倍受推崇和尊敬。尽管健康状况长期以来一直不佳,但她1972年2月20日与世长辞(终年66岁)的消息仍使她的朋友和同事们震惊不已。尤金·维格纳谈到她时说:“她虚怀若谷、朴实无华、性格可爱、酷爱事业,这使她赢得了大家的爱戴”。

在迈耶夫人100周年诞辰之际,纪念迈耶夫人,缅怀她对现代物理学的贡献,可以激励后人,使之更好地献身科学和服务社会。

(首都师范大学物理系 100037)

## 科苑快讯

中国参加

X射线自由电子激光项目

2005年11月24日,中国加入了位于汉堡的德国电子同步加速器(Deutsches Electron Synchrotron, DESY)中心的X射线自由电子激光(X-ray Free electron Laser, XFEL)项目,成为该项目的第一位非欧洲成员国。

到2006年中期,13个(可能还要增加)成员国将在合作方式、技术设计、时间表、成本细目、资金方面进一步仔细磋商。德国将承担这个项目约60%,即110万美元的建设资金。

该装置将产生波长在0.085~6.0纳米范围内、脉冲时间小于100飞秒( $10^{-15}$ 秒)的X射线。这种X射线脉冲将用于研究材料中分子和原子过程,以及实时观测生物大分子的活动。

项目工程建设将于2006年晚些时候开始,计划在2012年完成设备安装。

(高凌云译自 *Physics Today*, 2006年第1期)