

三分裂变的发现

郭奕玲 沈慧君

在核物理学中,三分裂变是一个很特殊的问题,也是一个颇引人注意的课题,因为它的研究有助于阐明核裂变的机理。几十年来,人们一直在关注这项研究的进展。早在在居里实验室工作的钱三强与何泽慧作出了卓越的贡献。

钱三强和何泽慧

钱三强是浙江吴兴人,1913年出生于著名学者的家庭里。1936年,钱三强毕业于北平清华大学物理系、北平研究院物理研究所当助理员。1937年经考试得中法教育基金会资助到法国留学。当时的北平研究院物理研究所所长严济慈亲自带领钱三强去见约里奥夫人伊伦·居里教授,介绍他到居里实验室做博士学位论文。同时,钱三强还到法兰西学院核化学实验室在约里奥教授的指导下研制用于观测核反应的云室。

约里奥是出色的实验家,擅长仪器的设计和研制,工作严谨踏实。1931年他亲自做成了一台独特的云室,可以在不同的压强下工作,从纯饱和水蒸汽的低压到好几个大气压。云室直径约15厘米,外加磁场高达1500高斯,可以从径迹曲率确定 β 射线的能量。在低气压拍得的粒子径迹,长度比正常压强下的要长十几倍。

1939年1月底,约里奥用云室拍摄到铀裂变的照片,获得了重核裂变的直接的实验证据。这时,伊伦·居里也设计了一个方案,希望得到补充的证明材料。他准备研究裂变碎片的 β 射线能谱,于是亲自配制放射源,让当时正在做博士学位论文的钱三强负责云室的操纵并进行测量。这台云室正是钱三强自己在约里奥教授的指导下亲手安装调试的。在伊伦·居里的帮助下,钱三强很快作出了明确结论。1939年初,两人共同署名发表了题为《比较铀和钍形成的放射性同位素之辐射》的论文,文中写道:“我们看到,在实验误差范围内,铀和钍受中子轰击后提炼出来的半衰期为3.5小时的放射性同位素的 β 射线谱是等同的,很可能它涉及到在两种情况下得到的同一种放射性同位素。”这就为核裂变提供了又一个实验例证。

1940年,钱三强以《 α 粒子同质子的碰撞》为题,在巴黎获得了博士学位。这一年德国占领法国,钱三强不得不暂时离开巴黎,直到1943年才返回。

1941年,钱三强曾在法国沿海的里昂大学找到临

时工作,内容是带学生做照相底板的实验。为此,他专门对照相材料的感光机制进行了学习和研究。

1945年,伊伦·居里计划引进核乳胶技术,考虑到钱三强在这方面已有很好的基础,决定派他去英国布里斯托(Bristol)大学向著名核物理学家鲍威尔(C. F. Powell)学习。核乳胶是记录核反应和带电粒子轨迹的一种灵敏而直观的实验手段,正好在这个时候发展起来。乳胶就是照相底片。用乳胶记录带电粒子早在1896年贝克勒尔(A. H. Becquerel)就已取得成效,但发展甚慢,直到1945年才由鲍威尔作出突破性进展。他和他的同事从1935年到1945年致力于改进乳胶的配方,做成了可以记录宇宙射线和各种带电粒子径迹的厚乳胶。鲍威尔1947年在奥基亚利尼(Occhialini)的合作下从宇宙射线发现了 π 介子,并于1950年获诺贝尔物理奖。

1945年冬天,钱三强掌握了核乳胶技术回到巴黎,协助伊伦·居里和约里奥开展这方面的工作。有两位博士生恰斯戴尔(R. Chastel)和维聂隆(L. Vigneron)在他的指导下进行工作。

何泽慧也是清华大学1936年物理系毕业生,去德国学习获得工程博士学位,后来在德国皇家学院研究核物理学,1945年在海德尔堡大学物理研究所所长波特(W. W. Bothe)的指导下,用云室研究正负电子之间的弹性碰撞,取得引人注目的成果。不久她也来到巴黎的居里实验室,和钱三强结婚并在一起工作。

发现了三分裂变和四分裂变

1946年,钱、何两人一起去英国剑桥大学参加基本粒子会议。在会上他们听到东道主的两位年轻博士生格林(Green)和利维赛(Livesey)用核乳胶记录中子打击铀核的报告。报告中展示的幻灯片,显示在两根深重的径迹之外,从分岔点上还发出一根细长而浅淡的径迹。深的径迹当然是裂变碎片,这根细长的浅迹,他们说可能是 α 粒子,没有作任何说明和解释。这一结果引起了钱三强、何泽慧的疑问和思考。

回到巴黎,他们立即和研究生们一道用新近购买的核乳胶进行试验。这时在市场上已有依尔福德公司(Ilford)生产的商品核乳胶供应。底片浸在10%的硝酸铀酰溶液中,经过干燥,放在法兰西学院由约里奥设计并领导安装的回旋加速器面前。从铍(Be)靶发出的慢中子轰击铀,裂片在乳胶中留下了深深的痕迹。

1946年12月9日,经约里奥推荐,他们在法国科学院《通报》上公布了三分裂变的研究结果。文中附有五张核乳胶照片,其中四张显示长度不同的第三条细长径迹。同年12月23日,他们又公布了首次获得的四分裂变照片,并附有详细的测量计算。这次是何泽

慧首先发现的。次年2月，他们又向美国的《物理评论》投寄了论文。钱三强、何泽慧等在这篇文章中写道：

“(A) 三分裂变。有确切的裂变径迹显示了一种特殊情况：三条径迹从一共同点发出，通常是两条重迹和一条较轻的长迹(图1与图2)。基于动量守恒进行的精确分析证明，不可能把它们都看成是裂变碎片在其射程起点与乳胶所含之核的碰撞。(这些核已知为H、C、N、O、Br及Ag等)。看来，更合理的结论是：这些都是铀分裂成三分带电碎片的裂变(三分裂变)。



图1 三分裂变：第三碎片—— $m \approx 9$ ，射程=44厘米，(空气当量)

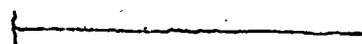


图2 三分裂变：第三碎片—— $m \approx 6$ ，射程=44厘米(空气当量)。

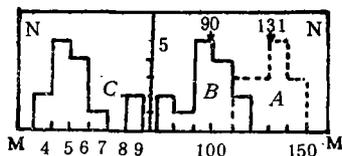


图3 三分裂变碎片的质量分布。

“考虑到测出的角度、射程和重离子的速度—射程关系，并根据动量守恒的要求，我们可以确定每一碎片的质量和能量。三个碎片质量的分布如图3，两个重碎片平均质量分别为99与131，第三片看来有两个可几值，其一约为5或6，另一约为9。三分裂变的平均总动能为165 MeV，略高于二分裂变。如二分裂变碎片和三分裂变碎片内部总激发能大约相等，可以认为动能的观测值与理论值的相符是令人满意的。

“三分裂变对二分裂变之比为 0.003 ± 0.001 。这个值可看成是低限，因为有些情况第三碎片较重，可能是核碰撞所致，故在统计中略去。”

这里指的理论值是玻尔和惠勒早在1939年所作的理论预计，他们提到了铀分裂成三个带电核的可能性，预言释放出的最大能量可达210—220 MeV，比二分裂变高10—20 MeV。

接着，钱、何在论文中介绍了四分裂变：

“(B) 四分裂变。除了三分裂变，我们还观测到一些情况，不能作别的解释，只能解释成由于裂变分裂为四个带电碎片(四分裂变)……观测到的三分裂变几乎全是同一类型，即二重—轻。而四分裂变则可能出现不同形式：(1)两重、两轻(相对而言)如图4；(2)三重—轻，如图5。如果二分裂变与四分裂变内部总激



图4 四分裂变(尺度为1厘米空气当量)



图5 四分裂变(尺度如图4)

发能大致相等，则四分裂变观测到的平均动能(约为110 MeV)与玻尔和惠勒估计的符合良好。四分裂变对二分裂变的比率为 0.0003 ± 0.0002 。”

这是第一次对三分裂变和四分裂变作出的明确结论。

那两位年轻的物理学家格林和利维赛闻讯专程来到巴黎访问居里实验室，他们不相信真有三分裂变和四分裂变，想要亲眼看看，钱三强、何泽慧高兴地满足了他们的要求。心灵手巧的何泽慧用十分钟就按标定的坐标从乳胶中找到了三分和四分裂变的径迹，使英国人大为惊讶。钱三强问这两位英国同行：“您们在英国看到过吗？”他们摇摇头。看来当时他们已经信服了。然而他们毕竟缺乏经验，自己没有主见，回去后还是听从了他们的导师费瑟的意见。费瑟在三、四十年代是很有名气的核物理学家，对三分裂变另有看法，认为 α 粒子不是裂变生成，而是裂变之前或裂变之后放射出来的产物。

为此，钱三强作了深入的理论分析。他在1947年3月31日向法国科学院作了《论铀的三分裂机制》的报告，针对费瑟的论点予以批驳。他没有点费瑟的名。约里奥教授劝他，一定要把道理讲透，不必指名道姓。在报告中他阐明了如下几点：如果裂变前放出 α 粒子，其方向应倾向于液滴变形的轴向；如果裂变后由某一重碎片放出，则 α 粒子的方向将是任意的；如果是三分裂变，第三块小碎片不一定是 α 粒子，可能会有一质量谱，估计氦(^3He)或氦6(^6He)有可能存在，因为它们包含着较多的中子。

钱三强还列出了详细的计算结果说明第三碎片可能的方向，有力地驳斥了非裂变说。

由于当时的实验条件尚不足以测定第三裂变碎片是否有质量谱，钱三强与费瑟的争论一时未见分晓。

待到六十年代，实验技术发展了，世界上有好几个实验室，利用新的探测手段研究裂变，证实了三分裂变碎片确有质量谱，其中包含多种物质，除 α 粒子外，尚有氦、氦6、氦1、铀和铍等，证实了钱三强1947年的理论预计。