

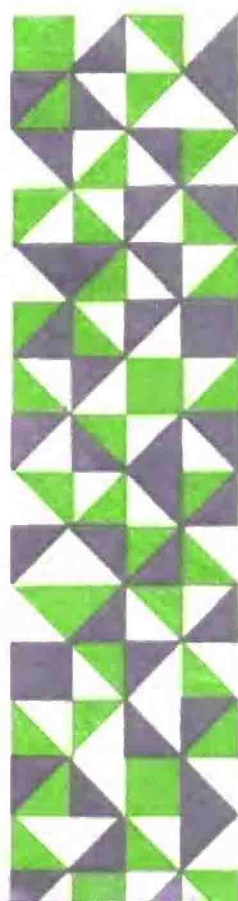


名家科普丛书

重原子核三分裂与四分裂的发现

钱三强著

科学技术文献出版社



名家科普丛书

重原子核三分裂与 四分裂的发现

钱三强 著

科学技术文献出版社

内 容 提 要

人们发现原子核的裂变,那是1938年底的事。在相当长的一段时间里,人们认为铀原子核总是分裂成两块碎片的(即两个较小的原子核)。1946年,我国科学家钱三强和何泽慧等人在法国居里实验室首先发现了原子核还可以分裂成三个碎片、四个碎片,这在核裂变研究中占有一定的地位。本书是钱三强教授对四十多年前他们的这一项实验的回顾,并结合介绍这一实验的有关基础知识,介绍了有关史实。本书是一本我国专家谈自己发明创造的科普著作,只要具备中等文化程度即可读懂。

名家科普丛书

重原子核三分裂与四分裂的发现

钱三强 著

*

科学技术文献出版社出版

(北京市复兴路15号)

上海市中华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 850×1156 1/32 印张 3.5 插页 4 字数 65,000

1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数 1—5,000本

定价: (平装本)1.75元

ISBN 7-5023-0644-7/N·5

写在前面

科学技术文献出版社的特邀编辑和副社长曾先后来访,要我把40年前何泽慧、法国两个研究生沙士戴勒、微聂隆和我一起作的铀核三分裂四分裂的研究工作编写成书,向今天的青年人提供一份科学普及的材料.今年底正好是核裂变发现50周年,让青年人了解一些核裂变的有关知识以及我国科学工作者的工作,自然是很好的.要说明的是,我们的工作不是裂变发现过程中的关键问题,但属于裂变物理的一个发展方向.由于半导体探测器等的启用,60年代以后,三分裂的工作有了新的发展,观察到更多的四分裂事例,甚至还有关于五分裂的报道.

我自1948年回国后,由于工作需要,没有再在这方面继续进行研究工作.但是,在何泽慧领导下,开展了中子物理和裂变物理的工作.除了目的性明确的应用研究工作以外,黄胜年、叶宗垣等人近10年来进行了裂变物理的基础研究,并作出了贡献.因此,我向科学技术文献出版社建议,请黄胜年教授和我合作写这本小书.他在核工业研究生部繁重的领导工作之余,承担了这项工作.我和他简述过40年前工作的环境、情况和过程,文章是他用我的口气写的.初稿写成后,我曾提过一些意见.他为写这本书,曾对裂变发现前后的科学文献作了详细的调研,特别是苏联在这方面的工作和1948年以后各国

的新发展.他作为本行的研究工作者,对提高与普及都能兼顾,文字通畅而严谨,非常注重科学性.他自己直接指导研究生的经历,使他有丰富的同青年共同工作的体会.因此,他写的经验教训对青年科学工作者将会起到有益的参考作用.

我们希望青年们在开放、改革条件下,避免我们这一代人走过的弯路,在中国共产党领导下,发扬“献身、创新、求实、协作”的科学精神,为社会主义四个现代化作出显著的成绩.有光荣历史的伟大的中华民族,应该对人类作出更多创造性的贡献.

钱三强

1988年12月 于北京

目 录

写在前面

一、预备知识	1
1. 微观世界	1
2. 径迹探测器	8
3. 云室	10
4. 气泡室	13
5. 原子核乳胶	15
6. 固体核径迹探测器	17
二、第二次世界大战期间的居里实验室	21
1. 居里实验室	23
2. 弗莱德里克·约里奥和伊莱娜·居里	25
3. 中子的发现	26
4. 人工放射性的发现	29
5. 我在居里实验室的前几年	32
6. 来到里昂	38
三、从两分裂到三分裂	
——新现象的发现	41
1. 何泽慧和她发现的科学珍闻	41
2. 一张“三分裂”照片	45
3. 原子核裂变的发现史	46

4. 链式反应的可能性	51
5. 自发裂变	53
6. 我们的初步实验	55
四、三分裂与四分裂	
——疑问与结论.....	60
1. 需要澄清的问题	61
2. 三分裂研究的深入和问题的答案	62
3. 与别人工作的比较	69
4. 四分裂	72
五、历史的检验	
——四十年后的回顾.....	77
结束语	89
附录 论铀三分裂的机制(1947 年).....	94

一、预 备 知 识

为了说清楚我们的实验，有一些基础知识和技术问题必须先向读者解释明白。在这里，我们就来谈谈微观世界和径迹探测器。微观世界是我们实验的研究对象，径迹探测器是我们实验用的工具。我在这里涉及的面稍为宽一点，以便让大家有一个较好的总体了解。

1. 微 观 世 界

大家可能都听到过，原子和原子核属于微观世界。那么，到底什么是微观世界呢？从字面上解释，看起来很大的叫做“宏观”，看起来很微小的叫做“微观”。宏观和微观本来是相对的尺度概念。尺度大、小要有一个标准。最自然的用以衡量的标准尺度就是人本身。成年人的身材一般在1米以上2米以下，因此可以用“米”这一长度作为标尺。客观世界的物体，如果其尺寸与1米相比不是小得太多的话（当然可以大得很多，例如星球和其它天体，大许许多多倍），就叫做宏观物体。而那些尺寸比1米小得很多很多的物体（我们这里讲，例如相差一百亿倍以上），就叫做微观物体。微观物体组成的体系，可以称为微观世界。原子的直径大约是1米的一百亿分之一（这个长度单位叫做埃，写作 $\text{\AA}$ ），原子和比原子更小的粒子就属于微观世

界。这里可以提出两个问题：第一，宏观、微观的划分，有没有必要？第二，为什么把分界线划在1埃（一百亿分之一米）左右？

对第一个问题，回答是肯定的。区分宏观、微观，不只是为了方便，更不是随意的，而是有着客观的、深刻的理由。其原因就是，微观物体的运动和变化要服从量子规律，与宏观物体有着明显的不同。通俗地讲，所谓量子规律，就是某些物理量不能采取任意的值（不能连续改变），而是只能有某些（或一系列）确定的值。或者说，这种物理量（例如能量）不是无限可分的，而是有着不能再分的最小的份额。能量的最小份额就叫做量子。当然，物理学的规律（包括量子规律在内）是普遍的，对宏观、微观物体都适用。可是，对宏观物体来说，由于它们本身的尺寸很大，量子效应非常不明显，因而可以完全忽略，不加考虑。在这种情况下，用经典理论（如牛顿力学）就可以很好地描述它们的运动。而对微观物体，由于它们本身太微小，量子效应明显突出，不能忽略。因此不能再用经典力学，而必须要用量子力学来描述它们的运动规律。所以，微观与宏观的划分，有着十分充足的理由，不是无关紧要、可有可无的。

同时这也回答了第二个问题。既然宏观与微观的划分主要是由于量子效应，那么显然应该把分界线划在从量子效应不明显到量子效应明显的那个边界上。这实际上就是原子的大小，即1埃（1米的一百亿分之一）左右。

自然科学中有三个根本性的问题。一个是宇宙演化；

一个是生命起源；还有一个是物质结构。千百年来，这些问题吸引了许多学者来探讨、研究。研究不断深入，一些问题解决了，但却出现了更多的新问题，至少目前还远远看不到尽头。人类对物质结构的认识过程，或许应该上溯到二千多年前。古时候的中、外哲学家就思考过物质世界组成的各种问题。其中之一就是：客观物体是不是无限可分的？庄子说的“百尺之竿，日取其半，万世而不竭”是一种观点；古希腊的德谟克利特(Democritus)的原子说是另一种观点。近代科学发展起来之后，基于化学和物理学的实验事实，道尔顿(J. Dalton)提出了原子论。此后，经过二百年的积累，到上世纪与本世纪之交，物理学和化学的知识已经深入到原子之内的层次。以电子和X射线的发现为契机，人们开始认识到各种元素的原子不是不可分割的，而是具有复杂结构的微观客体。也就在这个时候，发现了放射性现象，实际上已经接触到原子核的变革问题。

七十多年前，原籍新西兰的英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford)做了一个著名的 α 粒子散射实验，证实了原子的中心有一个带正电的核。与其它实验事实相印证，人们弄清楚了：原子是由中心的原子核和若干围绕它高速运动着的电子组成的。形象地作个比喻，一个原子就像是一个极其微小的太阳系。

原子是微小的，原子核则更加微小。我们举氦原子核作例子。氦-4原子核也就是 α 粒子。它的质量是 6.6×10^{-27} 千克，即约为1千克的一千亿亿亿分之七。它的直径

大约是 4×10^{-15} 米,即1米的一千万亿分之四.自然界里最重的原子核,质量大约比氦核大60倍,直径约大4倍.总之,原子核的直径仅为原子直径的十万分之几.可是,原子质量的绝大部分却集中在原子核内;核外电子的质量只占几千分之一.

再深入一步,就该研究原子核本身了.原子核是不是可分的?如果可分,它又是由什么东西组成的呢?它的结构又是什么样的呢?这里我们不作详细讨论,只简单说明,三十年代发现了中子之后,很快就得出结论:原子核是由质子(即氢原子核)和中子组成的.它们紧紧地堆积在一起,结合得很紧密,以致原子核内部的密度非常之高.计算起来,是普通水密度的二百万亿倍.

类似于分子与分子之间可发生化学反应一样,原子核与原子核之间也可发生变化,这种反应叫做核反应.化学反应只涉及核外最外层电子的状态改变,反应前后的能量差别不太大,大致在电子伏量级,而核反应涉及的是原子核组成和状态的变化,反应前后的能量差别要比化学反应时大得多(约大一百万倍以上),达到兆电子伏的量级.这是一个非常重要的事实.这里要说一下,电子伏是原子物理与原子核物理中常用的一个能量单位(写作eV),它的大小等于一个电子通过1伏电场时获得或损失的能量.兆电子伏是电子伏的一百万倍(写作MeV).

由于原子和原子核这些微观世界的物体非常非常微小,看不见摸不着,所以以前有一些人怀疑原子是否真正存在.甚至某些历史上著名的物理学家,也不相信原子是

真正客观存在的实体。例如,大名鼎鼎的马赫(E.Mach)就曾经认为原子和分子是“物理学与化学中人为假设的”,他把它们类比于代数符号,尽管他不否认“这些工具在专门的有限目的中的价值”。我想,这在当时也并不奇怪,要让人们接受新的观念,必须要有令人信服的证据才行。

在讨论分子运动时,中学教科书上总是讲到布朗(R.Brown)运动。许多物理教师还用布朗运动的实验来作示范。这是一种间接证明分子运动的方法。当然,布朗粒子比分子、原子大得多得多,这还远远不能使那些怀疑论者彻底信服。

有没有什么办法,使人们能够看见原子和原子核呢?

应该说,办法是有的。我们知道,生物学和医学上观察细菌等微生物,使用了显微镜。一般光学显微镜可以分辨出的最小物体,其大小应该是可见光的光波波长,也就是几千埃(即1米的一千万分之几)左右,这比原子的直径还大好几千倍。电子显微镜可以使用波长更短的电子束,能够分辨出小得多的物体。八十年代初,已经有人用当代分辨能力最高的电子显微镜拍摄到了金属中原子排列的照片,分辨出了一个一个的原子。这可以说是让人们“直接”看见了原子。

可是,原子核以及电子、中子、质子等微观粒子,他们的直径比原子至少还要小几万倍,想用电子显微镜这一类工具去观察它们,在目前是难以做到的。在这里,大自然给我们提供了另外的出路。

上面说过,原子核发生变化时,涉及到的能量改变比

化学反应要大得多(约大一百万倍以上).我们知道,原子核发生变化主要有两种过程:一种是核衰变,或称放射性衰变,就是一种原子核自发地发出射线(粒子或电磁波),同时自己转变成为另一种原子核;还有一种是核反应,即原子核在射线(粒子或电磁波)或其他原子核的作用下发生变化,形成新的原子核.不管是放射性衰变也好,是核反应也好,原子核变了,整个原子也跟着改变,一种元素会变成另一种元素.这就是古代炼金术士们花费了多少代的精力梦寐以求而一直未能做到的事.

放射性是原子核发生变化的一种表现.在上世纪末,贝克勒耳(H. Becquerel)和居里夫妇(P. Curie 和 M. Curie)发现放射性之后不久,就弄清楚了铀、镭等放射性元素发出的射线有 α 、 β 、 γ 三种. α 射线由带两个单位正电荷的 α 粒子(即氦-4原子核)组成; β 射线由电子(其电荷为一个单位的负电荷)组成; γ 射线则是一种波长极短的电磁波,其本质与无线电波、红外线、可见光、紫外线和X射线一样.这些射线的能量相当大,都在兆电子伏(MeV)量级.这是由于上面所说,原子核衰变前后能量的差别就有这么大,衰变时释放出的能量主要由这些粒子带走.核反应过程中发出的各种粒子或 γ 射线,大也都携带大小与此相近的能量.这些粒子非常小,但它们往往具有很高的能量,就是说,微观高能.这里有必要作一个说明,随着物理学的发展,四十多年来,研究的领域越来越深入,涉及的粒子能量越来越高.目前高能物理学研究的粒子能量,已经是几百亿甚至几千亿电子伏了,与之相比,

原子核物理学中涉及的能量变化只是兆电子伏量级，就显得很低。所以，现在有人又把“经典的”核物理学称为低能核物理学。过去的高能现在变成了低能。在本书中，我们不讨论几百亿、几千亿电子伏的高能粒子，还按照几十年前的观念，把兆电子伏的能区称为高能。由于这些微观粒子能量高，它们在物质层中通过时会引起从微观尺度来说是相当大的物理或化学变化。物理学家们考虑，是否有可能利用这些物理变化或化学变化来“观察”它们。

实际上，这些射线粒子的能量到底有多大呢？我们举镭-226的 α 粒子作为例子来说吧，每个 α 粒子的动能是4.8兆电子伏。换算成通常的单位，是 7.68×10^{-13} 焦耳，也就是一百万亿分之八焦耳。我们知道，质量为1克的物体，如果以每秒1千米的速度运动，其动能是500焦耳。可是1克氦气里的 α 粒子数目是 1.5×10^{23} 个（即一千五百万亿亿个）。粗略估算，1克上述 α 粒子（4.8兆电子伏）组成的“子弹群”，其动能要比质量为1克速度为每秒1千米的子弹大两亿倍。当然，一般情况下，我们不可能有1克 α 粒子组成的 α 射线束。平常的放射源，以居里为单位。1居里一般是每秒放出 3.7×10^{10} 个粒子（用新单位来表示是 3.7×10^{10} 贝克勒耳）。这样算起来，1居里镭源每秒发出的 α 粒子总能量是0.038焦耳。

总之，从微观尺度来看，这些粒子的能量是很高的；但从宏观尺度来看，就显得微不足道了。换言之，就单个粒子来说，能量很大，但加在一起并不大，因为涉及的粒子数目还太少。只有当宏观规模（例如1克）的原子核都发

生变化时,才能释放出真正巨大的能量.卢瑟福在逝世之前,作过一个错误的预言.他在回答人们提出的问题时断言,核反应不可能有实际的应用价值.原因就在于,当时他还看不到在宏观规模上释放核能的可能性.只有他逝世之后二年,重原子核裂变现象的发现,才开辟了实现这种可能性的途径.这是由于,中子能够引起铀原子核裂变,裂变时又放出更多的中子,这些中子再引起更多的铀原子核裂变,这样下去,可以形成链式反应,能使以千克计的铀原子核都发生裂变的缘故.所以说,裂变的发现是划时代的.小小的中子架起了一座桥梁,把微观世界和宏观世界“联结”起来了.

还存在着另外一些可能性,可以把微观和宏观“联结”起来.这里所说的“联结”,是这样的意思:微观粒子的能量在宏观尺度上看来还太小,这些粒子打到物体上造成的物理效应太小,用一般手段还观测不到.但在某些特定情况下,能不能找到一种“放大器”,把它们放大许多许多倍,造成宏观上可观测的物理变化呢?这里就要讲到径迹探测器了.

2. 径迹探测器

原子核物理学上所说的探测器,就是指能够探知微观粒子并测量它们的各种特性的仪器.探测器有许多种类,用在不同的场合.原子核物理的实验离不开探测器,复杂的实验要用许多不同的探测器来进行.探测器大

体上可分两大类,其中一大类是电信号探测器,其作用是把粒子的信息通过各种途径转变成电信号(通常是电脉冲信号),再加以记录分析.另一大类叫做径迹探测器,其作用是把粒子走过留下的“痕迹”放大,使之成为可供观测的“径迹”(意思是粒子路径的痕迹),再加以记录分析.

多数径迹探测器利用的是物质的亚稳状态.所谓亚稳状态,是指一种本质上是不稳定的状态,但由于特殊原因又勉强暂时保持稳定的状态.下面我们就来讨论这个问题.

现在的年青人大概不会知道封建时代的迷信求雨活动了.以前,遇到久旱不雨,庄稼枯萎时,一些人把庙里的菩萨抬出来游行,届时男女老幼都出来随行,热闹非凡.说也奇怪,经过这样的群众性活动之后,有的时候还真下了雨.迷信的人们当然认为是神佛真有灵验.其实呢,这里有着科学上的原因.

大家都熟悉水有三态变化,就是固态的冰,液态的水和气态的水蒸汽.当外界气压为1个大气压时,温度降到 0°C (冰点)以下,水就会凝结成冰;升到 0°C 以上,冰又融化为水.温度升高到 100°C (沸点)以上,水就会沸腾而变成水蒸汽;反过来,温度降到 100°C 以下,水蒸汽又会凝结成水.换句话说,在一定的温度和气压条件下,只有一种物态是稳定的,另外两种物态是不稳定的.可是,事实上并没有那么简单.我们还是设定外界气压是1个大气压,如果温度从 100°C 以上降到略低于 100°C 时,有时水蒸汽可以勉强维持在气态而不立即凝结成水.这就是一种亚

稳状态。原来水蒸汽要凝结成水珠时，需要一种凝聚中心。微小的尘埃粒子，尤其是带电的微粒，特别容易吸引水蒸汽的分子在它上面凝结。这就是凝聚中心。下雨的问题与此类似。大气中如果有较多的水蒸汽，其蒸汽压超过了所谓的饱和蒸汽压，就应该凝结成水，以雨的形式降到地面。但是，如果当尘埃很少，大气中缺少凝聚中心，在蒸汽压超过饱和蒸汽压不太多时，水蒸汽就不会很快凝结成水，这时叫做过饱和状态。迷信的人们求雨时，由于许多人出来游行，使得地上的泥土灰尘飞扬起来，大大增加了大气中的凝聚中心，在一定条件下促进了水蒸汽的凝结，使降雨成为现实。这是求雨的人们想不到的一种原理起了作用。现在，大家知道了这个道理，在久旱需雨时，再也不用去抬菩萨了，只要条件合适，就用飞机在空中撒布某些化学制剂来作为凝聚中心，水蒸汽凝结成水滴，这就是人工降雨。

3. 云 室

1904年，英国物理学家威尔逊(C.T.R.Wilson)利用了类似于上面说的道理，创造出一种能够“看见”微观放射性粒子的径迹探测器，叫做“云室”。为了纪念他的发明，人们把它称为“威尔逊云室”。

简单地说，威尔逊云室是一个一面有块厚玻璃窗的密封容器，其体积可以迅速加以改变(例如用一个活塞)。容器内部充以一定气压的空气(或其它气体)，并加入另