



现代自然科学普及丛书

原子世界探索

王 植 榆

上海科学技术出版社

·现代自然科学普及丛书·

原子世界探索

王 植 榆

上海科学技术出版社

现代自然科学普及丛书

原子世界探索

王植榆

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 6.125 字数 130,000

1979年8月第1版 1979年8月第1次印刷

印数: 1—70,000

书号: 13119·790 定价: 0.44元

出版说明

本丛书是一套中级科普读物。为了发展我国的科学技术,赶超世界先进水平,有必要以辩证唯物的观点为指导,及时介绍当代一些基本理论问题、基础学科、发展较快的新兴学科、边缘学科,包括其基本内容、发展历史、目前进展概况和今后动向,供有关的干部、青年和科技人员参阅。

这套读物有数、理、化、生、天、地(包括气象、海洋),以及有关现代农业、现代医学基础理论的选题多种,欢迎读者提出宝贵意见。

目 录

第一章 历史的回顾	1
第二章 放射性揭示了原子世界的秘密	5
一、看不见的射线	5
二、放射性衰变规律	9
三、放射性衰变中的守恒定律和同位素	11
四、三个天然放射性系列	12
五、放射线在物质中的“遭遇”	14
六、五花八门的侦察术	22
第三章 原子核的性状	33
一、原子核的发现	33
二、原子核的一些基本性质	35
第四章 层出不穷的原子核结构模型	55
一、气体模型和液滴模型	56
二、 α 粒子模型	58
三、壳层模型	59
四、综合模型	65
第五章 丰富多彩的核反应	71
一、从第一次核反应谈起	71
二、击碎原子核的“大炮”——几种加速器的简单原理	74
三、“炮击”原子核	87
四、核反应的机制	94
第六章 核物理研究的前沿——重离子物理	100
一、重离子物理简介	100

二、原子核新的运动形态·····	103
三、重离子加速器·····	109
四、重离子在科学技术上的应用·····	110
第七章 核子可分吗? ·····	117
一、基本粒子世界概况·····	117
二、基本粒子的孪生兄妹——反粒子·····	120
三、宇称的守恒与不守恒·····	126
四、对基本粒子更深层次的探索·····	133
第八章 强大的新能源·····	138
一、裂变与链式反应·····	138
二、受控热核反应·····	144
第九章 原子能利用前程无量·····	159
一、原子能发电·····	159
二、原子能在交通上的应用·····	165
三、核爆炸的和平利用·····	170
四、超重岛·····	172
五、其他·····	175

第一章 历史的回顾

茫茫玉宇、寥廓江天、沧海桑田，这就是展示在我们面前的物质世界。物质世界是一个永恒的无限的世界，千百年来，人类为了认识它，改造它，一直对它进行着无尽的探索。

人类对物质世界的认识，早期的来源之一就是对物质结构的探索。三千多年以前，我国人民经过对自然界事物的长期观察，提出了“五行”学说，即认为万物是由金、木、水、火、土五种元素所组成的。在这之后，约公元前六世纪时，古希腊的一些自然哲学家提出了世界的原始物质是水、火、土、气四种元素。公元前五世纪到前四世纪，古希腊的留基伯(Leucippus)和德谟克利特(Democritus)则将宇宙间万物归结为大量不可分割的微小物质粒子所组成，这种粒子称为原子(希腊文为atomos，就是不可分割之意)。按照原子论学说，各种原子没有质的区别，只有大小、形状和位置的差异，它们处在经常的运动中，并且以各种方式相结合。这些观点虽然都有着其本身的不足，可是在把世界统一于物质这一点上却闪耀着朴素唯物主义的光辉。尤其是原子论，尽管还是出于猜测，但是已经深入到物质的微观形态，这更是极其可贵的了。

在此后的十几个世纪岁月里，由于生产力发展的缓慢，人们没有能够对物质世界进行更深入的研究，素朴的原子论也受到宗教和神学的压制，没有得到发展。

从十五世纪下半叶起，近代自然科学开始发展。到了十六、十七世纪，人们通过对大量的物理现象和化学现象作深入

研究，证明了原子的实在性。特别是通过对物质化学运动的研究，人们不仅认识了原子的许多基本特性（如原子量等），并且还认识到原子本身也是多种多样的：氢原子、氧原子、铜原子、铁原子，性质都不一样。但当时人们仍然认为，这些原子是构成世间万物的、不可再分的“原始物质”，不同的原子不仅构成了天体、地球，也构成了声、光、电，以至连社会现象和思维现象，都归结为原子的机械运动。这幅“原子世界图景”，一方面使人们开始了解原子的多样性，另一方面却又堵绝了对原子更深一层认识的可能性。

十九世纪中叶，细胞、能量转化和进化论三大发现，证明了自然界的各种事物绝不是彼此孤立的，而是互相普遍联系的一个整体。尤其是十九世纪末二十世纪初，电磁场和放射性两项重大发现，终于冲破了形而上学的“原子世界图景”的框框，使人们开始认识还有比原子更深入的层次。电磁学的发展，使人们发现了一种不同于一颗一颗原子的新的物质状态——场，它充满整个空间，具有传递相互作用的能力。原子核的放射现象被发现，更是打破了原子不可分的迷信，事实证明原子是由电子和原子核所构成的。以后又进一步发现，原子核是由质子和中子组成的。电子、中子、质子和后来在宇宙射线与高能实验中不断发现的一系列粒子，比原子核更小，被人们称为“基本粒子”。二十世纪的科学技术发展到今天，人们就更加清楚地认识到，基本粒子也还有其内部的结构，也不是物质的最后形态，它们仍旧是无限可分，不可穷尽的。

原子世界是物质微观结构中一个很重要的层次。随着现代科学技术的飞速进步，尤其是原子核物理学科的兴起、发展，原子世界内部的秘密已经越来越多地被揭示出来，短短的几十年中，人们在探索原子世界方面取得了巨大的成果。从

上一世纪末伦琴(Röntgen)发现X射线后,紧接着1896年柏克勒尔(Becquerel)发现了铀的放射性;1897年汤姆生(J. Thomson)发现了电子;1898年居里(Curie)夫妇从铀矿石中发现镭和钋;这一系列发现就成为奠定核物理科学的基础。由于放射性能使一种元素衰变为另一种元素,人们开始把注意力集中到原子的内部。1911年,实验证实了原子核的存在;1913年玻尔(N. Bohr)提出了量子理论分析;1919年测到了原子质量,卢瑟福(Rutherford)发现了质子;1926年海森堡(Heisenberg)和薛定格(Schrödinger)创立了量子力学,并解释了原子领域的一些规律。进入三十年代:1932年查德威克(Chadwick)利用加速器从核反应过程发现了中子;1934年,人工生产放射性同位素开始问世;1939年哈恩(Hahn)和斯特拉斯曼(Strassman)发现了重元素可以裂变,打开了原子能利用的大门。进入四十年代:1942年费米(Fermi)建成了世界上第一个原子反应堆;1945年制造了第一颗原子弹,显示出它的爆炸能力。进入五十年代:1950年前后,人们开始考虑热核聚变的人工可控反应,以解决人类的能源问题。到了六十年代、七十年代,重离子物理又开拓了新的研究领域。可以这样说,原子核物理是一门日新月异地发生着变化的重要学科,它还有着更多的奥秘等待着人们去探索,有着更多的宝藏等待着人们去开发呢!

回顾这一段自然科学史,可以更深刻地体会到自然界是辩证发展的,对自然界的认识、探索是永无止境的,无论是宏观世界,还是微观世界,都是如此。请看:太阳系外面有千千万万个太阳系,银河系外面有千千万万个银河系,宇宙是无边无际的;分子里头有原子,原子里头有原子核,而原子核中又有基本粒子,基本粒子里还有更复杂的、未曾被人们认识的结

构、形态,这里包含的内容是多种多样的。辩证唯物主义为探索这个丰富多彩的世界指明了前进的方向,革命导师关于世界的统一性在于它的物质性,物质是无限可分的精辟论断,把人类对物质世界的认识水平提高到一个新的境界。恩格斯曾说过,世界的真正的统一性是在于它的物质性,这种物质性是由哲学和自然科学的长期的和持续的发展来证明的;并且还说过,原子决不能被看作简单的东西或已知的最小的实物粒子。列宁也说过,尽管人类对自然界的认识昨天还没有超过原子,今天还没有超过电子,但电子和原子一样也是不可穷尽的,这就是物质的深远的无限性。毛主席更是明确地指出,在原子里头充满矛盾的统一,有原子核和电子的对立统一,原子核里头有质子和中子的对立统一,质子又有质子、反质子,中子又有中子、反中子,对立面的统一是无所不在的。这些论述从理论高度概括了自然科学发展的成就,并将继续在指导我们向自然进军的斗争中发挥巨大的力量。

第二章 放射性揭示了原子世界的秘密

一、看不见的射线

十九世纪中期以后, 电力工业得到了飞跃发展, 这促使人们对生产实践过程中所出现的放电现象进行了广泛的研究。1858年, 人们为了研究物质在低气压下的放电特性, 改进了真空放电管, 这时发现当管内气压足够低时, 阴极会发出辐射, 这种辐射打在玻璃壁上能产生绿色的磷光, 后来人们把那种从阴极射出的射线命名为阴极射线, 把放电管称为阴极射



图 2-1 伦 琴

线管。1895年德国物理学家伦琴在重复阴极射线实验时，发现了一种奇特的现象，当放电电压足够高时，阴极射线轰击到重金属（钨、钼）制成的阳极靶上，还会发出一种射线，这是一种肉眼看不见的辐射，它不但能激发荧光物质发光，而且穿透力很强，能透过厚的黑纸盒，使里面的照相底片感光，甚至还能把衣袋中钱币和手的骨骼都显示在底片上。伦琴把这种未知的辐射称为X射线，这是一种波长很短的电磁辐射。由于X射线强烈的穿透特性，引起了医学界的重视，它可以作为诊断身体内部疾病的有效手段，所以很快在医学上得到广泛使用。社会生产实践的需要，推动了X射线的研究，但是如何扩大X射线源，怎样使X射线源既经济而又简便，自然界是否存在天然的X射线源呢？当时已经发现，X射线源是放电管内受阴极射线轰击的部分发出的，在发射X射线时，同时在玻璃壁上也伴随发出了绿色的磷光，所以人们就去研究那些天然

能够产生磷光的物质。1896年，法国的柏克勒尔在研究能发出磷光的铀矿石过程中，发现铀矿石即使不用日光或其他射线照射，自身也会发出一种辐射，这种辐射类似X射线，也能透过厚的黑纸片、薄铝片和薄铜片，使暗盒中照相底片感光。于是，人们第一次发现了自然界中存在着本身能放射出肉眼看不见的辐射的物质，



图 2-2 居里夫人

这种物质就称为放射性物质，它发出的辐射称为放射性现象。1896年，原籍波兰的法国科学家居里夫人在柏克勒尔之后，发现了自然界中钍也有类似铀的放射性，后来她又从沥青铀矿渣中先后发现了另外两种新的放射性元素钋和镭，它们比铀具有更强的放射性，相同重量的镭和铀，则镭的放射性要比铀大两百万倍。

那么这些天然放射性物质所辐射出的射线是什么成分呢？人们将铀放在铅罐中，罐上开一个小孔，射线从孔中射出。在孔外加一磁场，磁场方向垂直纸面向内，这时，就可以发现，由于磁场的作用，这束射线便分成三部分：一部分向左偏转，说明是带正电的，人们称之为“ α 射线”；另一部分向右偏转，说明是带负电的，称之为“ β 射线”；第三部分不偏转，说明不带电，称之为“ γ 射线”。

这些射线本身又是什么呢？1903年英国的卢瑟福用强磁场和电场作实验，证明了 α 射线是带二个正电荷的氦离子； β 射线就是电子。以后，人们又证明了 γ 射线是波长比X射线还要短的电磁波。由于这些射线本身具有不同的性质，所以它们的穿透能力、电离作用也不同， α 射线可以用一张纸将其挡住，它的电离作用最强； β 射线需要一百张纸才能把它吸收掉，其电离作用较弱；而要吸收 γ 射线则非得要厚厚的混凝

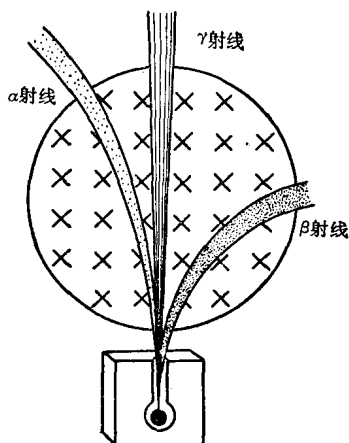


图 2-3 铀射线在磁场中分为三部分

土墙才行, 它的电离作用则最弱。

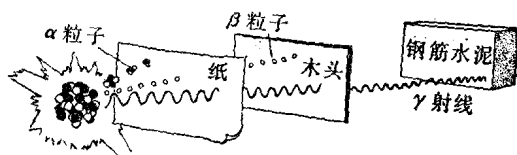


图 2-4 三种射线通过物质的情况

现在知道X射线是阴极发出的高速电子打击在阳极原子上, 由于受到库仑场作用, 而改变速度放出的韧致辐射, 同时也存在高速电子直接打击原子内层电子, 把内层电子击出原子之外造成内层电子出现空位, 由邻近壳层电子跃迁此空位时发出的辐射。但是铀的 α 、 β 、 γ 三种射线却来自原子核内部, 这是什么原因呢? (关于原子核的发现, 我们将在下一章谈到。) 经过一系列的科学实验发现, 铀辐射的电离本领与铀化合物内的化学成分无关, 如果含有一定量的铀元素, 无论以什么化合物形态存在, 都不能改变它的电离作用的本领大小, 甚至改变外界条件, 例如高温或低温, 以及加上电场或磁场也不能影响铀辐射的快慢。这些都可以表明, α 、 β 、 γ 三种射线只能是铀原子的核心——铀原子核本身自发放出的现象。从原子核内辐射出三种射线, 这现象并不奇怪, 因为运动是物质的存在形式, 无论何时何地都没有也不可能没有运动的物质, 正由于象原子核这样小的微观世界仍然存在着各种运动形态, 它们的平衡与稳定也是相对的、有条件的、暂时的。既然 α 、 β 、 γ 三种射线是由原子核内部辐射出来的, 那末原子核在辐射出 α 、 β 、 γ 三种射线后, 它本身会有什么变化呢? 让我们再深入地探索下去。这就是我们要讲的放射性衰变规律。

二、放射性衰变规律

虽然外界条件不能影响放射性物质的放射快慢，但是人们却发现放射性物质的放射性随着时间的增加而越来越弱，而且大量的同种原子核因放射性而陆续发生转变，使处于原状态的核数目不断减少，变成另一种原子核，这就是原子核的衰变。不同的放射性物质，变化是不同的。如我们对 ${}_{15}\text{P}^{32}$ (磷)和 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ (氡)这两种放射性物质进行观察(元素符号右上标表示质量数，左下标表示原子序数)，就可以发现， ${}_{15}\text{P}^{32}$ 经过15天左右，其放射性强度减弱1/2，而 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ 经过4天，其放射性强度就减弱到原来的1/2。经过一个月以后， ${}_{15}\text{P}^{32}$ 的放射性强度减弱到原来的1/4，而 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ 的放射性强度则已微乎其微了。如果用一根曲线来描绘，那就更清楚了。下图(图2-5)是 ${}_{15}\text{P}^{32}$ 放射性强度随时间变化的实验规律。左图中横坐标表示时间；纵坐标表示在时间 $t=t$ 时的原子核数 N 和时间 $t=0$ 时的原子核数 N_0 之比。如果以 $\ln N/N_0$ 为纵坐标，而横坐标仍以时间 t 表示，那我们就可得到如右图中所画的一根直线。

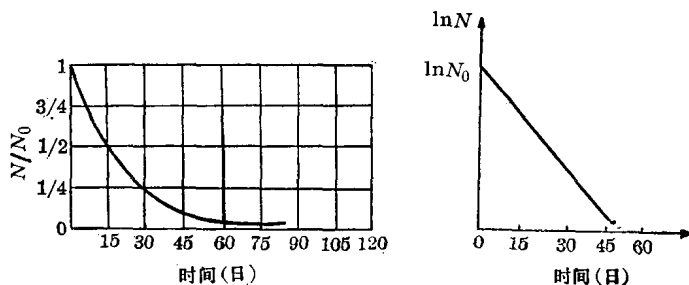


图 2-5 放射性强度随时间变化的规律

为了更好地描绘放射性衰变规律，可以把实验中所得到的一些事实用简单的数学式子来表示。因为，从上图中的直线可以知道，这是一个简单的线性方程： $\ln N + \lambda t = \ln N_0$ ，式中 λ 是直线的斜率。从物理上来讲，它是反映放射性物质衰变快慢的特征常数，因此，不同的放射性物质就有不同的 λ 。从上述方程可以得到一个反映放射性物质衰变规律的数学方程式 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 。 N_0 是处于初始时原状态的原子核数目，经过 t 时间后，原状态的核数还剩下 N 个， λ 是衰变常数。这个放射性规律是一个统计规律，它是对大量的原子核而言。原子核很小很小，即使是极少量的放射性物质也含有大量的原子核，如 10 毫微克镭，即亿分之一克镭，它就含有 10^{15} 个镭原子核。在大量的具有放射性的原子核中，任何时刻，任意一个原子核都可能发生放射性衰变，至于那一个核发生衰变，这完全是一个偶然事件，但究其整个(大量)而言，总是表现为 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 的规律。

既然放射性衰变是一种统计规律，因此，有的原子核是在 $t=0$ 时刻发生衰变，有的原子核是在另外时刻开始衰变，所以各个原子核的寿命长短各不相同，为了描述这种情况，人们就采用平均寿命这个概念，即从这些原子核产生衰变的时刻起到衰变为其他状态时止所经历时间的平均值。经过计算，它与衰变常数的关系是 $\tau = 1/\lambda$ 。不过现在习惯上更多采用的是放射性物质的半衰期。半衰期，就是放射性物质的原子核数衰变到原有核数一半所经过的时间，前述 P^{32} 和 Rn^{222} 的半衰期分别是 15 天和 4 天。半衰期与衰变常数的关系为 $T = 0.693/\lambda$ 。各种放射性物质的半衰期是不同的，相差十分悬殊，如有的放射性物质半衰期达几十亿年到一百多亿年，而有的半衰期仅仅是几秒钟甚至比几千万分之一秒还小。在自然

界,有的放射性物质现在还可以在地球上找到,而有的在地球上则早已绝迹了。这就是由于它们的半衰期有很大差异的缘故。

衰变常数、平均寿命、半衰期是描写放射性物质衰变快慢的三个物理量。我们在实践中,除了要知道放射性物质的衰变快慢外,还应该知道放射性物质的强弱程度,因而人们就用放射性强度单位来描写放射性物质的强弱程度。放射性强度,它用来表示单位时间内发生衰变的原子核数,通常用居里作单位,其定义为某一放射源每秒能产生 3.7×10^{10} 次原子核衰变,该源的放射性强度即为 1 居里。但通常因居里单位太大,所以采用 1 毫居里 $= 3.7 \times 10^7$ 次/秒或 1 微居里 $= 3.7 \times 10^4$ 次/秒。放射性强度单位对于测量放射性是很重要的。

三、放射性衰变中的守恒定律和同位素

放射性衰变是原子核的变化过程,它应该和自然界中其他变化过程一样,必须遵守电荷守恒、质量守恒、能量守恒等普遍定律。所以,放射性物质衰变时所产生的各种粒子,加上衰变后所形成的新原子核的电荷数、质量数应当等于原来放射性物质中原子核的电荷数、质量数。例如 ${}_{88}\text{Ra}^{226} \rightarrow {}_{86}\text{Rn}^{222} + {}_2\text{He}^4$, 在 ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ 原子核衰变为 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ 和 ${}_2\text{He}^4$ 两种原子核的过程中,它质量数没有变化,即 $226 = 222 + 4$,但是 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ 和 ${}_2\text{He}^4$ 的静止质量之和小于 ${}_{88}\text{Ra}^{226}$ 核的静止质量,这个“质量亏损”在能量上的反映,就是 ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ 和 ${}_2\text{He}^4$ 两种核所获得的动能。

如果某一元素的原子核的电荷数相同,但具有不同的质量数,它们组成的元素化学性质相近,在元素周期表中是处在同一个位置上,这就是同位素。同位素有稳定同位素和放射