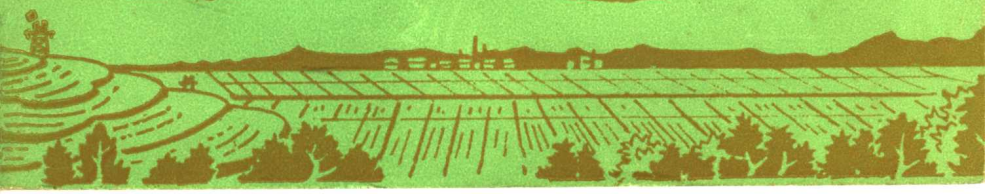




原子能的农业利用

郝心仁 编著

农业出版社



原子能的农业利用

郝心仁 编著

农业出版社

封面设计

刘玉忠

409093

S217
H227

内 容 提 要

本书介绍有关原子能农业利用的一些基础知识、基本原理和应用这些原理所获得的一些科技成果。可供院校有关师生、新从事核技术在农业利用的同志参考。

原子能的农业利用

郝心仁 编著

农业出版社出版(北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 天津红旗印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 3.625印张 80千字
1981年5月第1版 1981年5月天津第1次印刷
印数 1—3,000册

统一书号 16144·2306 定价 0.40元

前 言

放射性的发现、原子能的应用，在科学发展史上是件大事。火，电和原子能的发现与应用，都是对人类的发展和社会的进步有巨大推动作用的，是对人类社会的重大贡献。

原子能科学是门新兴的科学，在旧中国是谈不上什么原子能科学的。解放后，在党的关怀下，我们社会主义祖国的原子能事业，从无到有，迅猛发展。1958年建成了我国第一个原子反应堆，1964年成功地爆炸了我国第一颗原子弹。我们的社会主义祖国，在建设国防现代化的同时，在工、农、医各部门，在科学研究诸领域，为发展生产，为提高人民日益增长的物质及文化生活水平，广泛开展了原子能的和平利用。

在农业上，要用最新科学技术武装农业以实现农业现代化。从应用的角度看，把原子能应用于农业科学研究和农业生产中去，需要具备必要的基础知识，如：原子和原子核的结构与性质，放射性和人工放射性的性质与特点，同位素的使用与测量方法，放射性的安全防护知识等。本书主要是介绍原子能农业利用的一些基础知识和基本原理，并介绍一些应用这些基本原理所获得的某些重要成果。

本书可供农业院校有关师生、农业科技人员，特别是新从事核技术在农业上应用的同志参考。

本书在编写过程中，得到中国农业科学院秘书长任志同志、中国原子能农学会理事长徐冠仁博士，以及刘书城、温贤芳等同志的支持，和一些同志提供了帮助，在此一并致以深切的谢意！

1980年6月

目 录

一、原子结构和原子核结构	(1)
1.1. 物质、元素、原子	(1)
1.2. 原子的大小、重量、原子量	(3)
1.3. 原子的电子壳层结构	(5)
1.4. 元素的周期律和周期表	(8)
1.5. 原子核结构	(11)
二、放射性和人工放射性	(18)
2.1. 放射性的发现和射线的性质	(18)
2.2. 原子核的稳定性和放射性	(20)
2.3. 放射性衰变定律, 半衰期, 居里	(24)
2.4. 人工放射性 with 放射性同位素的生产制备	(26)
2.5. 放射化学基础	(35)
2.6. 同位素的测定方法	(38)
三、放射性的安全防护	(51)
四、原子能在农业上的应用	(60)
4.1. 辐射育种	(60)
4.2. 小剂量照射的应用	(69)
4.3. 利用辐射保藏食品	(72)
4.4. 利用射线防治害虫	(77)
4.5. 示踪原子在土壤肥料研究中的应用	(80)
4.6. 同位素与生物固氮	(87)
4.7. 示踪原子在作物营养生理研究中的应用	(89)

4.8. 同位素在畜牧兽医方面的应用	(91)
4.9. 稳定同位素在农牧业上的应用	(95)
4.10. 活化分析在农业上的应用	(96)
4.11. 原子能在环境保护方面的应用	(102)
4.12. 利用射线测定土壤含水量和寻找地下水源	(104)
4.13. 同位素示踪法在农业气象上的应用	(110)

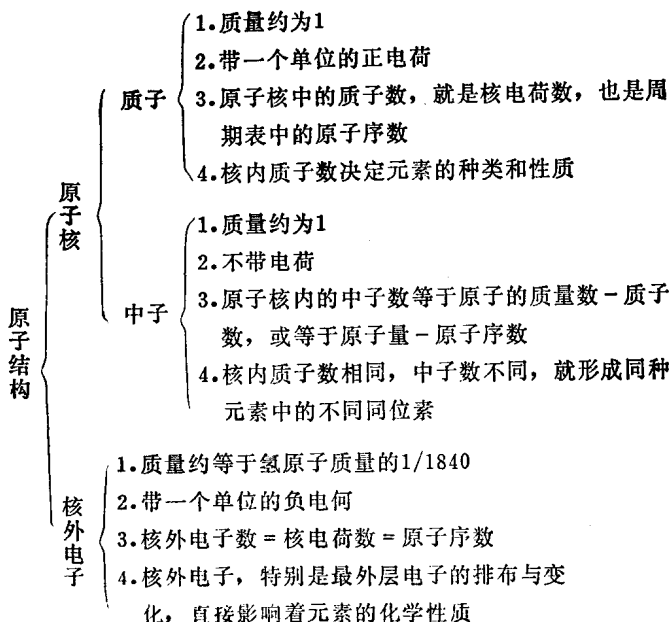
一、原子结构和原子核结构

1.1. 物质、元素、原子

世界是物质的，物质是变化的。我们周围的一切，包括我们自己的身体，衣食住行所用的种种物品和器件，以及红花绿草、飞禽走兽、山川河流、病毒细菌乃至天体宇宙，全都是物质。我们生活在物质世界中。这个物质世界中的形形色色的物体，真是品种繁多，五彩缤纷。但是，经过分析化验，这千千万万物体，包括来自“天上”的陨石和陨铁，都不过是由几十种化学元素组成的。例如，车床、坦克、拖拉机，主要是由铁元素组成的；粮、棉、油、糖，主要是由碳、氢、氧、氮组成的；水是由氢和氧两种元素组成的；而食盐又是由另外两种元素氯和钠组成的。

元素的最小单位是原子。在物质世界中，核电荷数相同的同一类原子，就组成同一种化学元素，不同种类的原子就组成不同的化学元素。原子的结构系统大体如下(见第2页)。

原子虽小，但结构复杂。原子的中心有原子核，核的周围有电子环绕它旋转。不同元素的原子核，轻重不同，大小不同，核外电子数也不同，电子轨道的大小和壳层也不同。小小一原子很象巨大的太阳系(图1—1，表1—1)。原子核好比太阳，各个行星好比核外电子。行星绕太阳旋转，电子绕原子核旋转。各行星的轨道不同，各电子的轨道也不同。



原子核带正电，电子带负电。正电和负电互相吸引，对立统一，构成一体。又因正负电相等，所以原子整体呈电中性。既然正电和负电互相吸引，那么电子为什么不会被原子核吸到核上去呢？这是因为，电子不是静止的，电子在旋转，旋转产生的离心力使得电子不会被原子核吸过去而落到核上；同时，也因为带正电的原子核的吸引力，所以电子也不会因旋转产生的离心力使其脱离原子核而跑掉。

原子核带的正电数量，与其绕行电子的数目相等，电性相反。不同元素的原子核所带正电荷的数目不同，因而不同元素原子的外围绕行电子的数目也不相同。中性原子的电子的数目，通常称为原子序数。例如，氢原子只有一个绕行的电子，所以氢的原子序数是1；作为原子弹原料之一的铀，

表1-1 原子结构与太阳系结构之比较

项 目	原 子	太 阳 系
核 心	原子核是原子的核心	太阳是太阳系的中心
轨 道	电子依不同轨道绕原子核旋转	行星依不同轨道绕太阳旋转
质 量	原子核占整个原子质量的99.97%	太阳占整个太阳系质量的99.87%
距 离	电子间距离与电子直径之比, 达上千倍	行星间距离和行星直径之比, 达上千倍
作 用 力	原子核和电子间是电吸引力在起作用, 力的大小与距离平方成反比	太阳和行星间是万有引力在起作用, 力之大小也与距离平方成反比

它核外的绕行电子数为92, 所以铀的原子序数是92, 它是天然元素中原子序数最大的。93号以后的几个元素, 是人造元素。

1.2. 原子的大小、重量、原子量

元素的最小组成单位是原子。那么, 原子到底有多大呢?

“体重”又多重呢? 原子是极小而又是极轻的。一亿个原子一个挨一个地排起队来, 其队列之长, 也不过一厘米左右

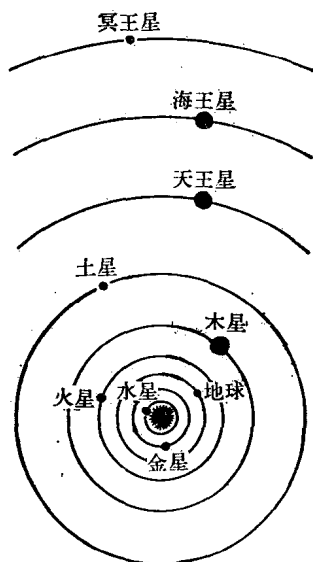


图1-1 行星环绕太阳旋转示意图

(表1—2)。原子又是极轻的,以“克”为单位的话,一个原子的重量,要在小数点后加上二十多个零。例如,氢原子的质量是0.0000000000000000000000001673克。这样写太麻烦了。为简化这种写法,改用指数,写成 1.673×10^{-24} 克。但是,即使用指数表示,也感不便。这是因为,原子太轻而所用单位“克”对原子来说是太大了。于是,科学家们就又定出“秤”原子的新单位来,叫“氧单位”(也有用碳单位的)。所谓“氧单位”,就是把氧原子质量的1/16作单位,别种元素的原子和它去比较,即所谓“用东西秤东西”的办法。那元素原子的质量是几个氧单位,就是那元素的原子量是几。例如,氢原子的质量是氧单位的1.008倍,所以氢的原子量是1.008。由于原子量是一个比值,所以它没什么单位。

一个氧原子的重量是 2.6563×10^{-23} 克,那么它的1/16就是 2.6563×10^{-23} 克 $\div 16 = 1.6602 \times 10^{-24}$ 克,这就是一个氧单位的重量。反过来说,一克重就相当于 $1/1.6602 \times 10^{-24} = 6.023 \times 10^{23}$ 个氧单位。这个数字 6.023×10^{23} 就是与原子量有关的著名的阿伏加德罗常数。这个常数的意义是,任何物质,如果它们的重量在数值上等于它们各自的原子量或分子量,那么,它们就会含有相同数目的原子或分子。例如,氢的原子量是1.008,氧的原子量是16.000,那么,1.008克的氢和16.000克的氧含有相同的原子数或分子数。

表1—2 物质结构的层次及其大小

物质层次	宏观物质	分子	原子	原子核	中子 (或质子)
尺度(厘米)	$\gg 10^{-5}$	$\sim 10^{-5} - 10^{-8}$	$\sim 10^{-8}$	$\sim 10^{-12}$	$\leq 10^{-14}$
相对大小	远远大于10亿倍	约10亿倍	约100万倍	约100倍	1

1.3. 原子的电子壳层结构

在原子核外绕行的电子，不是杂乱无章的，而是有不同的层次，并各有自己的运行轨道（图1—2，图1—3）。这是

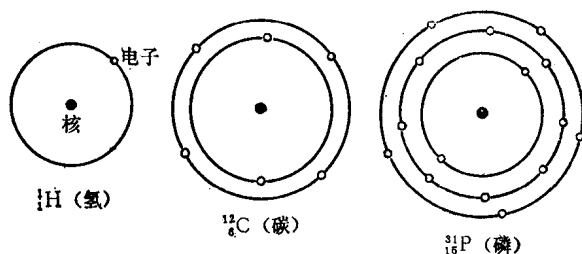


图1—2 几种原子的电子壳层示意图

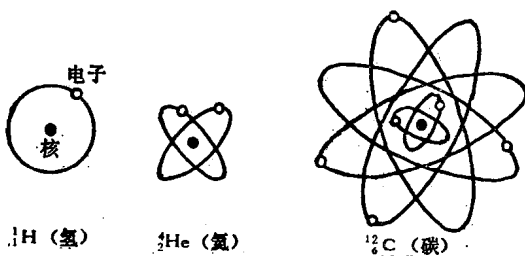


图1—3 几种原子的电子轨道示意图

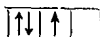
为科学实验所证明了的。而各层电子的主要区别是能量的不同，也就是说，核外电子是排布在能级不同的层次上。距核近的在低层，能量低；距核远的在高层，能量高；距核最近的为第一层，能级最低。第一层也称为K层，第二层为L层，第三层为M层，依次类推为N、O、P、Q层。

科学实验还表明，同一主层中的电子，能量也不完全相同，而是略有差异。因此，每一主层又划分为一个或几个亚层。各电子亚层常用小写英文字母 s、p、d、f 等表示。又为了区别不同主层的亚层，常把主层的号数写在亚层符号之前，如 3d 表示第三层（M 层）的 d 亚层，2p 表示第二层（L 层）的 p 亚层。各主层的亚层数，相当于主层的号数，如第一主层（K 层）只有一个 s 亚层，第二主层（L 层）有 s 和 p 两个亚层，第三层（M 层）便有 s、p、d 三个亚层，第四层（N 层）就有 s、p、d、f 四个亚层等等。

每个亚层又有一种或几种不同的轨道。如 s 亚层只有一种轨道，p 亚层有三种轨道，d 亚层有五种轨道，f 亚层有七种轨道，等等。而每个轨道上，最多只能容纳两个自旋方向相反的电子。因此，每个亚层上最多能容纳的电子数是：s 亚层上 2 个，p 亚层上 6 个，d 亚层上 10 个，f 亚层上 14 个，等等。

核外电子在原子核外的排布，是否也遵循一定的规则呢？是的，核外电子排布的一般规则是：

1. 电子在原子内，总是尽量排布在能级最低的轨道上。

2. 在相同的亚层上，电子在成对之前，尽先分别占据各个轨道。如在 p 亚层的三个 p 轨道上，三个电子的排布应是 ，而不是 ，图中  代表自旋方向相反的两个成对电子。

3. 在同一轨道上，成对电子的自旋方向必须相反。

4. 每层（主层）电子数最多为 $2n^2$ （ n 为主层号数），最外层电子数 ≤ 8 ，次外层电子数 ≤ 18 。

原子的电子壳层结构与电子分布的示意如图 1—4。通过这个电子壳层及电子分布示意图，能够比较形象而具体的、

甚至是定量和半定量地看到电子壳层的结构，能级高低，主层数，亚层数，轨道数，每个亚层和主层的最多电子数等。

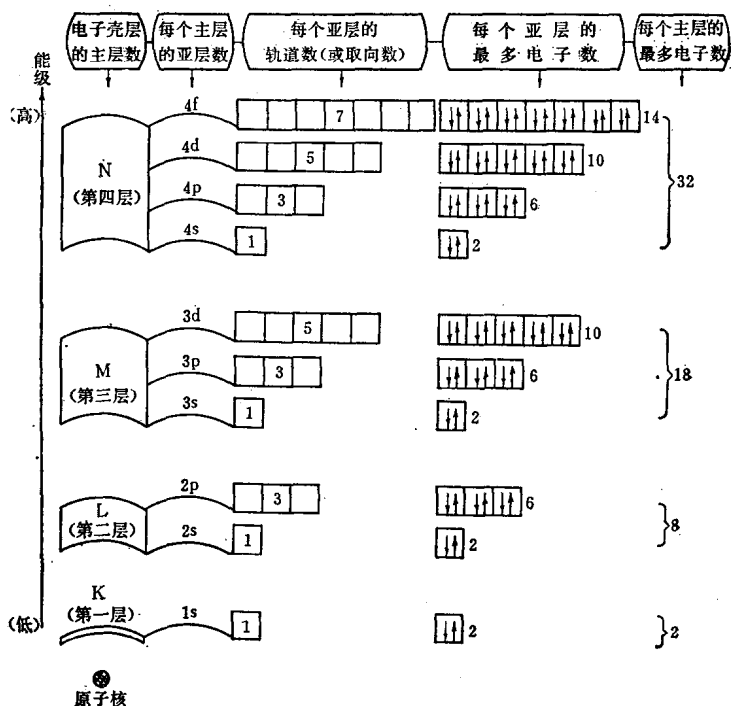


图1—4 原子的电子壳层结构和电子分布示意图

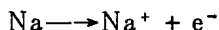
核外电子，特别是外层电子，可以吸收外来的能量，而从能量低的轨道跃迁到能量高的轨道，这就叫激发；若激发的能量足够大，还可能使电子脱离原子核的引力，这叫做原子的电离。受激发跃迁到高能量轨道的电子，处于不稳定状态，可以自动降到低能量轨道，这时多余的能量就以电磁波

(光子)的形式放出来, 而其波长 λ , 由两个轨道的能量差决定, 依如下公式计算:

$$\lambda = hc / (E_a - E_b)$$

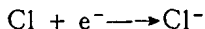
式中 h 是普朗克常数, c 是光速, E_a 和 E_b 是电子在轨道 a 和 b 上的能量。

各种元素的化学性质, 和核外电子的分布情况密切相关, 尤其决定于最外层电子的状况。例如, 强金属性的钠, 它的最多层只有一个电子, 它很容易丢失掉这个电子而成为带阳电的阳离子, 这一反应的电子方程式是:



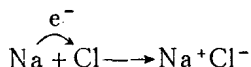
钠原子 阳离子 电子

与钠相反, 强非金属性的氯 (Cl), 它原子的最外层有七个电子, 很容易从外界再拉来一个电子形成 8 个电子的满壳层, 从而成为带负电的阴离子, 这一反应的电子方程式是:



氯原子 电子 阴离子

由上述两个电子方程可知, 氯和钠的变化只是一个电子的得与失。但是, 可不要小看这一个电子的得失, 它对化学性质影响巨大, 有腐蚀性的钠和有毒的氯, 它们在各自得失一个电子之后, 都结合成我们人体所必需的食盐了。其化学反应方程式就是上述两个方程式的加合:



1.4. 元素的周期律和周期表

各种化学元素, 有的是气体, 有的是液体, 有的是固体,

有的是金属，有的是非金属，有的是黑色，有的是黄色，有的是紫色等等。人们会问，在这些元素之间，它们是彼此孤立毫无联系的呢，还是有着内在联系有其规律可循呢？

现在已知，自然界只有90多种化学元素。但是，直到发现了60多种元素时，仍然没有找到它们之间的内在联系。后来，大化学家门捷列夫经过长期的研究，发现元素的化学性质和原子量之间有重要联系。他把已知的各种元素，按其原子量的大小为序排列起来。排队の結果使他发现，每隔几个元素就有化学性质相似的另一元素出现。例如，我们把最前面的20个元素依原子量大小顺序写出来，即能明显地看出这种情况（表1—3）。他由此得出结论：元素的化学性质随着原子量的增加而有周期性的变化。这就是著名的早期的“元素周期律”。依照这个定律，把各元素列成表，就是“元素周期表”。按照元素周期表，每个元素在表中都有个顺序号，这个顺序号就叫“原子序数”。例如，氢在周期表中排的是第1号，所以氢的原子序数是1，氦是排第2号，所以氦的原子序数是2，“原子燃料”铀在周期表中排第92号，所以铀的原子序数是92，其余类推。

然而，人类对自然界的认识，随着社会的进步和科学的发展，而逐渐深入和日趋完善。后人发现，门捷列夫周期律和周期表，与某些科学事实相矛盾，例如，氩的原子量比钾大，若按原子量大小顺序排号，原子量小者钾在前才对，但从化学性质来看，把氩排在前面才更符合周期性。这就是矛盾。如何正确地对待门捷列夫的周期律呢？首先，门捷列夫从杂乱无章的许多元素中，找到了它们之间的内在联系和规律性，从而发现了周期律，这在科学上就是很了不起的贡献！另一方面，由于历史的局限和当时的科学水平，使得他的认

表1—3 化学元素的周期性举例

元素名称	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	A	K	Ca
	(氢)	(氦)	(锂)	(铍)	(硼)	(碳)	(氮)	(氧)	(氟)	(氖)	(钠)	(镁)	(铝)	(硅)	(磷)	(硫)	(氯)	(氩)	(钾)	(钙)
原子量逐渐增大 →																				
原子量	1	4	6.9	9	10.8	12	14	16	19	20.2	23	24.3	27	28.1	31	32.1	35.5	39.9	39.1	40.1
性质		惰性气体	强金属性	典型金属性	微弱金属性和微弱非金属性	微弱非金属性	明显非金属性	典型非金属性	强非金属性	惰性气体	强金属性	典型金属性	微弱金属性和微弱非金属性	微弱非金属性	明显非金属性	典型非金属性	强非金属性	惰性气体	强金属性	典型金属性

识还有不完善之处。在今天，我们能现代原子结构理论，去深入认识和补充纠正门捷列夫的周期律了。依照现代原子结构的理论来看，原子量不如核电荷更能决定原子的化学性质。因此，不应按原子量的大小为序而应以各元素核电荷的多少为序来排列元素。这样排出来的元素周期表，就更能反映出各元素间的本质联系，因而也就更符合客观实际了。所以，在现代，是用原子结构的理论来表述元素周期律，这就是：元素的化学性质是随着原子核电荷的增加而有周期性的变化。

元素周期律的发现增添了进一步研究自然的有力武器，特别是对化学的发展起了巨大作用，如预言元素；同时，它在哲学上也有重大意义，周期律是哲学上量变质变规律的有力证明，它更加充实了辩证唯物主义哲学。

在明白了元素周期律和周期表之后，对于进一步了解什么是同位素和原子核的结构是什么，就有一定的理论基础了。

1.5. 原子核结构

原子核的轻重大小 如果说山川河流、粮棉糖油这些日常见得着的东西，是属于“宏观世界”，那么，原子、电子、原子核就算是“微观世界”了。原子已经够小的了，而原子核还要更小！比方说，如果原子的直径是10000，那么原子核的直径才只是1。所以，原子核在整个原子中只占有极小的空间。但是，尽管原子核的个头小得出奇，然而它的密度和质量，相对而言却又大得惊人！整个原子的质量几乎全在原子核。原子核的密度之大，是一般人所想象不到的：如果在1毫升容积中全装上原子核，那它就有 10^8 吨之多，也就是1