

北京市电视教学讲座教材

无机化学

(第一册)

B-10

051/3

北师大化学系无机教研室编

1977.8

目 录

绪 论

- 1. 化学和化学变化..... (1)
- 2. 化学在国民经济中的地位和作用..... (2)
- 3. 无机化学的现状和展望..... (3)
- 4. 用辩证唯物主义统帅化学教学..... (4)

第一章 化学基本概念..... (5)

第一节 分子和原子..... (5)

1—1. 分子和原子的概念 (5)

1—2. 原子的组成 (6)

1—3. 化学元素和同位素 (9)

第二节 原子量和分子量..... (11)

2—1. 原子量 (11)

2—2. 分子量 (13)

第三节 克原子 克分子 摩尔..... (14)

3—1. 克原子 (14)

3—2. 克分子 (15)

3—3. 摩尔 (16)

第四节 化学计算..... (17)

4—1. 根据分子式进行计算 (18)

4—2. 根据化学方程式进行计算 (20)

第五节 气态方程..... (23)

5—1. 气体克分子体积 (23)

5—2. 气态方程 (23)

习 题..... (28)

第二章 水 溶液 胶体..... (29)

第一节 水..... (29)

1—1. 水的物理性质 (29)

1—2. 水的化学性质 (31)

1—3. 纯水的制取 (33)

第二节 溶液的一般概念..... (35)

2—1. 什么叫溶液 (35)

2—2. 溶液的组成 (35)

第三节 溶解平衡和溶解度	(36)
3—1. 溶解平衡	(36)
3—2. 溶解度	(37)
3—3. 影响溶解度的因素	(37)
3—4. 溶解度在生产实际中的应用	(40)
第四节 结晶	(41)
4—1. 结晶过程	(42)
4—2. 影响结晶颗粒大小的因素	(42)
第五节 溶液的浓度	(43)
5—1. 重量百分浓度	(43)
5—2. 克分子浓度	(45)
5—3. 当量浓度	(47)
5—4. 比重和波美度	(50)
5—5. 各种溶液浓度的换算	(51)
第六节 稀溶液的性质	(51)
6—1. 溶液的蒸气压降低	(52)
6—2. 溶液的沸点升高	(53)
6—3. 溶液的凝固点降低	(53)
6—4. 溶液的渗透压	(54)
第七节 胶体	(57)
7—1. 分散系	(57)
7—2. 胶体的制备	(57)
7—3. 胶体溶液的性质	(58)
7—4. 胶体的结构	(58)
7—5. 胶体的破坏	(59)
习 题	(59)
第三章 化学反应速度与化学平衡	(61)
第一节 影响反应速度的主要因素	(61)
1—1. 浓度对反应速度的影响——质量作用定律	(62)
1—2. 温度对反应速度的影响	(64)
1—3. 催化剂对反应速度的影响	(65)
第二节 化学平衡与平衡常数	(67)
2—1. 化学反应的可逆性与化学平衡	(67)
2—2. 平衡常数	(68)
第三节 化学平衡的移动——吕、查德里原理	(71)
3—1. 浓度对化学平衡的影响	(71)
3—2. 压力对化学平衡的影响	(72)

3—3. 温度对化学平衡的影响	(73)
3—4. 吕、查德里原理	(73)
第四节 化学反应热	(74)
习 题	(75)
第四章 电解质溶液和电离平衡	(76)
第一节 强弱电解质 电离度 活度	(76)
1—1. 强电解质与弱电解质	(76)
1—2. 电离度	(77)
1—3. 强电解质溶液与活度概念	(78)
第二节 一元弱酸、弱碱的电离平衡	(79)
2—1. 一元弱酸、弱碱的电离平衡	(79)
2—2. 影响弱酸、弱碱电离平衡的外界条件	(81)
2—3. 关于电离平衡的计算	(83)
第三节 多元弱酸的电离	(86)
3—1. 多元弱酸的电离	(86)
3—2. 关于多元弱酸电离的计算	(87)
第四节 水的电离 溶液的pH值 关于pH值的计算	(88)
4—1. 水的电离与离子积常数	(88)
4—2. 溶液的酸碱性 with pH值	(89)
4—3. pH值的近似测定与指示剂的概念	(91)
4—4. 关于pH值的计算	(91)
第五节 缓冲溶液	(92)
第六节 中和与水解	(94)
6—1. 酸碱中和反应	(94)
6—2. 盐类的水解	(94)
第七节 沉淀的生成与溶解	(98)
7—1. 溶度积原理	(98)
7—2. 沉淀的生成	(99)
7—3. 分级沉淀	(102)
7—4. 沉淀的溶解与转化	(103)
第八节 离子反应	(104)
习 题	(106)
第五章 碱金属和碱土金属	(108)
第一节 碱金属和碱土金属元素的性质	(108)
1—1. 元素的物理性质	(108)
2—2. 元素的化学性质	(109)
第二节 氧化钙、过氧化钠、超氧化钾	(111)

2—1.氧化钙	(111)
2—2.过氧化钠	(112)
2—3.超氧化钾	(112)
第三节 氢氧化物的溶解度和碱性.....	(112)
第四节 碱金属和碱土金属的盐类.....	(114)
4—1.氯化物	(114)
4—2.硫酸盐	(116)
4—3.硝酸盐	(116)
4—4.碳酸盐	(117)
4—5.硫化物	(119)
4—6.碱金属和碱土金属盐类小结	(120)
第五节 常见碱金属、碱土金属化合物的纯制和离子的检出.....	(120)
5—1.碱金属和碱土金属化合物的纯制	(120)
5—2.离子的检出反应	(121)
5—3.个别离子的检出和分离	(122)
习 题	(127)

附录

I.原子量表	(130)
II.氨水和几种酸的比重和浓度	(131)
1.氨水.....	(131)
2.盐酸.....	(131)
3.硝酸.....	(132)
4.硫酸.....	(135)
5.磷酸.....	(138)

绪 论

1. 化学和化学变化

化学和一切自然科学一样，“是人们争取自由的一种武装。”伟大导师毛主席教导我们：“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。”从原始社会使用火开始和中世纪冶金、染色、酿酒的出现，直至现代化肥、药物、半导体材料、原子核材料的生产，都标志着化学的不断发展，以及人类在改造自然、利用自然的斗争中所取得的丰硕成果，现代科学的发展中几乎没有一个生产部门能离开化学。

化学是研究物质的组成、结构、性质和化学变化规律的一门科学。我们生活在浩瀚的物质世界，大至星球宇宙，小至尘埃微粒，都在不停地运动着、变化着。革命导师恩格斯指出：“运动是物质的存在方式。”又说“关于原子运动的科学，即化学。”化学区别于其他自然科学的特殊运动形式是原子的“化分”和“化合”。

物质运动的形式有多种，在生产和科学实验中最常接触到的有两种，物理运动和化学运动，化学主要研究物质的化学运动形式。

在日常生活中，观察到液态水加热至 100°C 变成了水蒸气；液态水冷却到 0°C 结成了冰，这就是水的一种运动形式。水由液态变成了气态或固态，只是水的状态发生了变化，但水没有变成新的物质。

〔实验1〕

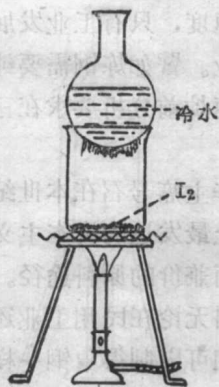


图1 碘的升华

碘是暗灰色固体，当受热后生成碘的蒸气（紫色），碘蒸气遇到冷的器壁，就冷凝成碘的晶体。此现象是碘的升华，在碘升华的全过程中，只是碘的状态发生了变化，但碘并没有变成新的物质，是一种物理变化。

物质只是它的外形或状态发生了变化而没有变成新物质的运动形式叫做物理运动或物理变化。化工生产中好些单元操作：如机械分离、过滤、吸附、沉淀、蒸馏、升华等过程都属于物理变化。

在日常生活中我们还常碰到另一类运动形式。例如铁在潮湿的空气里生锈；气肥（碳酸氢铵）受热后分解，这里铁与铁锈，气肥与它的分解产物都不再是同一物质。这类运动的特点是产生了新的物质。

点燃镁条，发出耀眼的白光，并生成一种白色粉末状物质为氧化镁 $2\text{Mg} + \text{O}_2 = 2\text{MgO}$ 镁与氧化镁的颜色、成分、性质、结构都发生了变化，这种有新物质产生的运动形式叫做化学运动或化学变化。化合、分解、复分解等都属于化学变化。

物质的某些性质，不经过化学变化就能表现出来，这些性质叫做物理性质。描述某物质的物理性质应该包括这几方面：颜色、气味、状态、熔点、沸点、硬度、比重等。

BW71/1154/08

〔实验2〕

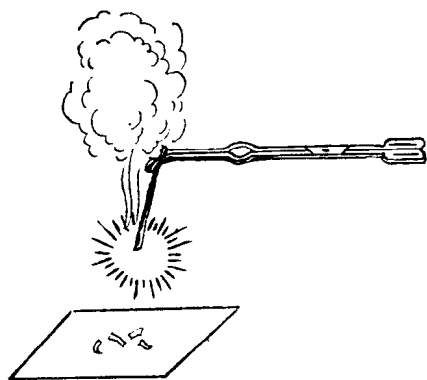


图2 镁条的燃烧

物质的另一些性质，只有在发生化学变化时才表现出来，这些性质叫做化学性质。如与氧作用、与水作用、与酸作用、与碱作用等等。各种物质都有一定的化学性质，不同的物质化学性质也不同。

在研究化学变化时常常遇到两类反应：化合反应即由两种或两种以上的物质变成一种新物质的反应叫化合反应，如镁条的燃烧。另一类反应是分解反应即由一种物质变成两种或两种以上新物质的反应叫分解反应。如气肥的分解。

总之，所谓化学反应的主要特征是生成了新的物质。新的物质是如何产生的呢？它是从旧物质的消亡中产生的，是符合物质不灭定律的。

2. 化学在国民经济中的地位和作用

现代化学的一个重要任务是为国民经济、科学技术的发展提供各种性能的材料和化合物。目前，世界各国的化学工作者每年要合成上万个新的化合物，研究几十万种化学现象，测定几百万个各类数据，并发表30多万篇化学文献。人类已认识的化合物总数：1880年为1200种；1910年为15000种；1940年500000种；1972年为6000000种。

为继承伟大导师毛主席和敬爱的周总理的遗愿，在本世纪内，全面实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，使我国国民经济走在世界的前列。要实现四个现代化是离不开化学的。

(1) 工业现代化

工业是国民经济的主导，要加快钢铁、燃料动力和石油化工的发展速度，只有工业发展了，以数量越多、质量越好的农业机械、化肥、农药等生产资料支援农业。譬如炼钢需要纯碱脱硫，轧钢需要硫酸去锈、炉前的钢铁分析也需要化学知识，当前快速炉前分析要求在三分钟内能分析出十多种化学元素。

石油化工为我国化学工业的发展提供了雄厚的物质基础。英明领袖华主席号召在本世纪内，建设起十来个大庆这样规模的大庆油田。为我国石油工业赶超世界上最发达的资本主义国家规划了一幅宏伟的蓝图。随着石油工业迅速发展，开辟了新的丰富而廉价的原料途径。用石油、天然气为原料的合成塑料、合成橡胶、合成纤维，这三大合成材料无论在民用工业还是在国防工业、尖端技术领域里有广泛的应用。随着科学技术的发展我们可以制得象钢一样强的塑料，也可制得轻如羽毛的塑料，可制得象玻璃一样透明的塑料，和象石英一样耐热性塑料，以满足国民经济各部门和国防建设的需要。橡胶是一种重要的经济物质和战略物质，世界各国都非常重视它的发展，目前合成橡胶制品已有几万种之多，在国防尖端技术中也迫切需要具有特种性能的橡胶。合成纤维的品种更是名目繁多，它具有强度高、耐磨、耐酸碱、比重轻等优良性能，所以在工业、交通、渔业、纺织等广泛应用，可以最大限度地满足劳动人民衣食生活和国民经济的需要。同时有效地为战备和支援世界革命提供了可靠的物质

资源。

(2) 农业现代化:

农业是国民经济的基础,以粮为纲、夺取农业丰收重要的一环是肥料和农药。贫下中农常说:“庄稼一支花,全靠肥当家。”足见肥料对农作物生长之重要。氮、磷、钾肥、微量元素肥料和复合肥料等都是化工产品。再说农药,现在使用的大多数农药如有机磷杀虫剂内吸磷(1059)、对硫(1605)、杀虫脒盐酸盐等,这些农药毒性较大,它的弊病是昆虫产生了抗体,对人、畜有害,污染环境,今后发展是昆虫变态激素和性引诱激素,这类昆虫激素都可以通过合成方法合成。

(3) 国防现代化

当前,革命和战争的因素都在增长,虎狼在前,苏修亡我之心不死。加快国防工业现代化,对巩固无产阶级专政、防止帝修反的突然袭击,有着极其重要的意义。现代的炸药分为化学炸药和原子核炸药,都具有猛烈的爆炸性能,它的合成由化工提供了原料和材料。现代化的国防工业和科学尖端技术方面需要多种多样的高质量的化工产品,例如高能燃料,耐高低温、耐腐蚀、耐磨擦、耐辐射等特种性能的合成材料,超纯的稀有金属、半导体材料和激光材料等。

(4) 科学技术现代化

实现四个现代化科技现代化是关键,因此,它在四个现代化中占有极其重要的地位。国外科技界认为,当前人们普遍关心的四个问题是:控制人口,从节制生育和增加食物着手解决人口日益增长的问题;环境保护和控制污染;扩大自然资源和能源的利用;探索生命科学的秘密。这四个课题,都给化学工作者提出了许多新的研究课题。合成粮食,探索生命科学的秘密等课题的重大突破,将会对人类造福。大搞综合利用,化害为利,变废为宝,不仅要解决“三废”的处理、脱污,还要发展闭环工艺,使“三废”消灭于系统的生产之中,那就要化学工作者研究发展易分解的材料譬如农药可以在预定的时间内分解,薄膜材料可以通过培养一种细菌去分解等等。

我们伟大的社会主义祖国,幅员辽阔,自然资源丰富,从天然资源中提取有用的物质,为各条战线和人民生活服务,这是化学工作者的光荣的任务。

化学在国民经济中占有重要的地位和作用,化学的发展必然促进国民经济各部门的发展,反过来,国民经济各部门的发展必然推动化学和化学工业的发展。

3. 无机化学的现状和展望

现代无机化学是研究碳元素以外的所有其他元素及化合物的合成、组成、性质、结构和反应的一门科学,已逐渐形成了比较完整的体系。无机化学半个世纪以来,不再是纯叙述性的学科,而是由很多密切相关的分支学科交织起来的一个整体。这些分支包括络合物化学、稀有金属、稀土元素、金属间化合物,一些普通元素化学和同位素化学。在此同时,无机化学又和其他学科相互渗透,产生不少边缘学科,象固体化学、生物无机化学、和金属酶化学。无机化学在过去五十年迅速发展,合成了新材料,提出了新流程,取得了新发现,它是一门正在飞跃发展中的学科。

众所周知，经历了原子论的创立和元素周期律的发现两次革命性的飞跃的化学，近年来在感性材料急剧增加的基础上并经长期的剧烈酝酿，正面临着第三次质的飞跃，不少科学家预言，这次大飞跃将在化学键研究上突破。经过这次飞跃将会更深刻地揭示化学键的本质，从而导致对化学物质的组成，结构和性能关系的全面阐明。

展望未来，无机化学面临着许多新的研究课题，如络合物在氮固定的研究；探索高效催化剂；金属间化合物和稀土元素等电子及磁性材料的进一步研究和扩大实验方法等等。

4. 用辩证唯物主义统帅化学教学：

伟大导师毛主席教导我们：“在人类的认识史中，从来就有关于宇宙发展法则的两种见解，一种是形而上学的见解，一种是辩证法的见解，形成了互相对立的两种宇宙观。”在包括化学在内的自然科学的发展史中，充满着唯物主义和唯心主义的两条哲学路线以及辩证法和形而上学两种宇宙观之间的尖锐斗争。唯心主义和形而上学代表着一切剥削阶级的意识形态，起着反动的作用，而辩证唯物主义则是无产阶级认识世界和改造世界的锐利武器。我们必须学会用正确的宇宙观来指导我们的学习和教学。观察和研究物质的化学运动规律。

毛主席在实践论中明确指出：“实践的观点是辩证唯物论的认识论之第一的和基本的观点。”自然科学来自实践，并且随着实践的发展而发展。因而紧密地结合实验现象、生产实际进行学习，不但能使学习变得生动活泼，也将有助于我们树立实践第一的观点。

毛主席在光辉的五卷中指出：“一分为二，这是个普遍的现象。”毛主席在五卷中列举了许多有关化学的例子。关于原子，毛主席说：“你看在原子里头，就充满着矛盾的统一。有原子核和电子两个对立面的统一。原子核里头又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。总之，对立面的统一是无往不在的。”又说“化合物都是不同性质的东西的对立统一。”这是毛主席运用对立统一规律对化学的精辟概括。指出了微观世界从分子、原子、原子核到“基本粒子”处处充满着矛盾。我们要以“一分为二”的观点来统帅化学教学，去分析问题和解决问题，将无往而不胜。

我们要树立起为实现四个现代化而努力学好化学，在三大革命实践中作出更大的贡献。

第一章 化学基本概念

在化工生产、科学实验和化学教学实践中，经常要运用化学基本概念去分析问题，进行某些化学计算。因此，有必要对这些基本概念深入地进行一些讨论，在弄清这些概念涵义的基础上，了解它们与其它概念的联系与区别。“人的概念的每一差异，都应把它看作是客观矛盾的反映。”而我们要深刻了解这些概念的涵义，就必须着重理解这些概念不同于其它概念的特殊点，即质的区别。

伟大导师毛主席明确指出：“理论的基础是实践，又反过来为实践服务。”化学计算中的许多实例都充分说明了这一点。

本章只重点讨论几个方面的问题，为了节省篇幅，某些基本概念不再赘述。

第一节 分子和原子

1—1. 分子和原子的概念

世界是由物质构成的，物质又是由什么组成的呢？人们在长期的实践中认识到物质是由分子组成。分子是保持物质化学性质的最小微粒。同种类的分子性质相同，不同种类的分子性质不同。氢气和氧气的性质所以不同，是因它们是由不同种类的分子组成的。在物理变化中，物质的分子没有发生变化，如液态的水，固态的冰，气态的水蒸气都是由水分子所组成。

由同种分子组成的物质，叫做纯净物质，如纯氧气是由氧分子组成，纯水是由水分子组成，由不同种分子组成的物质叫混和物，如空气是由氧气、氮气、惰性气体等几种气体分子组成，所以空气是混和物。世界上绝对纯的物质是不存在的，所谓纯净，是对不纯物质相对比较而言。譬如优级纯试剂比化学纯更纯净，而高纯试剂又比优级纯试剂更纯净。总之，纯是相对的，不纯是绝对的。

随着工农业生产和科学研究的迅猛发展，我国在高纯试剂的制备方面取得了新的成就。当前，立足于试剂生产的国情，和尖端科学的需要，我国的试剂分级有如下几个标准：

高纯试剂	高纯〔表示法：99.99% (4个9)；99.999% (5个9)；99.9999% (6个9)〕
	光谱纯(符号S·P·)
	特定(电子纯、荧光纯、分光纯、原子吸收纯)
常用试剂*	I级品(优级纯)，又称保证试剂(符号G·R)
	II级品(分析纯)，又称分析试剂(符号A·R)
	III级品(化学纯)，又称化学试剂(符号C·P)
	IV级品 又称实验试剂(符号L·R)

*常用试剂今后发展的趋势是减少级别、增大级差。

辩证唯物论认为，物质是无限可分的。物质可以分割成分子，那么，分子是否可以进一步分割呢？事实证明，分子还可以进一步分割成更小的微粒——原子。显然，当某种物质的分子进一步分割成原子时，那种物质的性质也就不再保持了。我们把构成分子的用化学方法不能再分的最小微粒叫做原子。例如氧分子是由氧原子构成的，氢分子是由氢原子构成的，水分子是由氢原子和氧原子构成的。

伟大导师毛主席在《矛盾论》这篇光辉著作中，明确指出化学这门科学的特殊矛盾就是原子的“化分”与“化合”。在化学反应中，原子只是重新组成了新的分子，原子本身没有变。所以，我们可以说，原子是物质进行化学反应的基本粒子。正如革命导师恩格斯所指出的，化学就是“关于原子运动的科学。”原子和分子一样，也是在不停地运动着。原子既然是构成分子的一种微粒，那么原子是否还可以再分为更小的微粒呢？关于原子毛主席指出“你看在原子里头，就充满矛盾的统一。有原子核和电子两个对立面的统一。”这是毛主席运用对立统一规律对现代自然科学成果的精辟概括，指出了微观世界从分子、原子、原子核到“基本粒子”处处充满了矛盾，我们应当用对立统一的观点来研究原子的组成。

1—2. 原子的组成

在人类认识物质结构的过程中，始终存在着两种根本对立的自然观。唯心主义者用静止的、形而上学的观点认识世界，认为物质是不能无限分割下去的，物质存在着最后的、绝对的、不可分割的微粒。十九世纪末叶之前，许多持形而上学观点的科学家就是这样把原子看成是物质最小的不可再分的微粒。这种形而上学的唯心主义的自然科学观阻碍着科学的发展。辩证唯物主义认为，事物都是一分为二的，不但原子可分，电子也可分，物质是无限可分的，因而我们对自然界的认识也将是无止境的。自然科学的发展不断地证实辩证唯物主义物质观的正确性。辩证唯物主义关于物质无限可分的思想，为我们认识自然和改造自然的斗争指明了方向。

十九世纪末到二十世纪初，科学界发现了一系列重要的事实，特别是电子和放射性现象的发现， α 粒子的散射实验，确凿地证实了原子不是物质的最小微粒，而是具有复杂的内部结构的。这些发现推翻了“原子不可再分”的错误观念，加深了人类对物质构造和物质特性的认识，进一步证实，丰富和发展了辩证唯物主义。

1. 电子的发现

十九世纪末，人们从阴极射线的研究中发现了电子。

阴极射线是在阴极射线管的放电中产生的。阴极射线管是一个管内残留少量气体，压强低于千分之几毫米汞柱的真空玻璃管，管的两端封接了两个金属电极。当两极通入高压直流电时，在阴极就发出一种射线，称为阴极射线(图1—1)。阴极射线不能直接看到，但它可使硫化锌(ZnS)一类的物质发生荧光，因此利用涂有这类物质

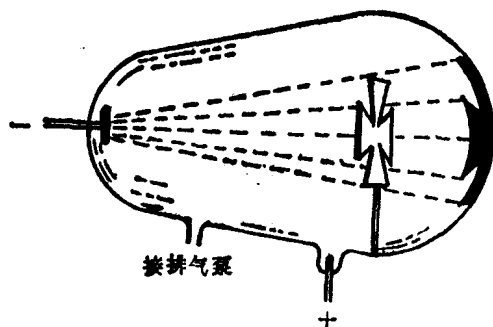


图1—1 阴极射线

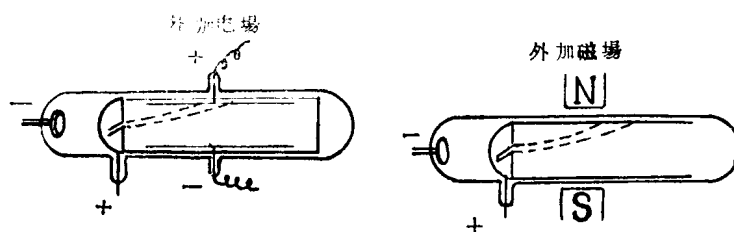


图1—2 阴极射线在电场、磁场中偏转

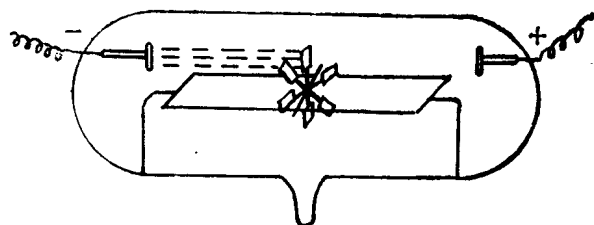


图1—3 阴极射线是一股微粒流

的荧光屏就可显示出射线的方向。在外加电场(或磁场)中阴极射线会向阳极(或N极)偏转(图1—2)。

假如管内装有转轮,阴极射线可使转轮转动(图1—3)。由此证明阴极射线是一束高速运动着的带负电荷的微粒。人们把这种带负电荷的微粒称为电子。

众所周知,电视机上的荧光管也是一种阴极射线管,从阴极发出的电子打在荧光屏上,便产生各种映象。

根据实验测定,电子的质量很小,约为氢原子质量的 $1/1840$;电子的电荷等于 1.60×10^{-19} 库仑,是电量的最小单位,叫“单位电荷”。至今为止,所有一切带电物质所具有的电荷,就其绝对值而言,都等于电子电荷,或是电子电荷的整数倍。

阴极射线管的电极,无论用哪种金属都可以产生阴极射线;此外,当金属或气体灼热时,或用光线照射金属时,也能放出电子。电子能从各种不同的物质中分离出来,说明了在一切原子的组成中都含有电子,原子是可分的。

2. 原子核

既然电子被证明是原子的一个组成部份,电子是带负电荷的微粒,而整个原子是电中性的,这说明在原子中还存在着某种带正电荷的组成部分,而且这种组分所带正电荷的电量必定跟原子中所含电子的负电总量相等。二十世纪初,人们通过 α 粒子散射实验证实了这种想法是正确的。

α 粒子散射实验是利用高能粒子去碰撞原子,使它们发生相互作用这个原理设计的。实验中所用的高能粒子是 α 粒子。 α 粒子是从放射性元素(例如镭)发射出来的质量为4而带两个单位正电荷的氦离子(He^{2+})。 α 粒子有很高的速度(约每秒20000公里),因而有很大的能量,能穿透气层或金属薄片,并能使荧光屏发出闪光。用放大镜就能观察到这种闪光。

当一束平行的 α 粒子射向一金属薄片时,穿过薄片的 α 粒子,绝大多数都是直线前进的,只有极少数(约万分之一)的 α 粒子发生了偏转,其中有些粒子偏转的程度较大,甚至被反射回来(图1—4)。这样,就发生了所谓 α 粒子的散射现象。这就是说,原来平行的 α 射线束通过金属薄片时,已有一部分改变了它们原来的运动方向,而不再平行了。如何解释这一现象,并得到应有的结论呢?

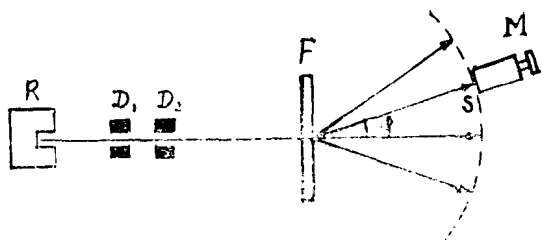


图1—4 α 粒子散射实验示意图

当每个 α 粒子穿过金属薄片时，必然会遇到许多原子，而大多数 α 粒子能直线通过，表示 α 粒子是穿过原子本身的。至于少数 α 粒子发生激烈偏转，那必定是由于 α 粒子与原子中带电部分相互作用而引起的（图1—5）。但这种带电部分未必是电子，因为 α 粒子的质量比电子的质量约大7400倍，所以 α 粒子与电子碰撞时，不

可能使 α 粒子的运动方向有显著改变，即不可能引起很大的偏转。因此只能认为， α 粒子在行进中遇到了体积很小、质量和正电荷都很集中的部分，在相互排斥的情况下，引起了 α 粒子的散射。原子中这个带正电荷的部分就是原子核。在 α 粒子散射实验的基础上，研究了物质的放射现象，进而提出了原子结构的模型：

（1）每个原子的中央都有一个带正电荷的原子核，核外有若干电子绕核旋转。原子核的体积很小，它的直径的数量级约为 10^{-13} 厘米，约为原子直径（ 10^{-8} 厘米）的十万分之一。原子核和电子之间是十分敞空的，并存在着电场，电场把核和电子束缚在一起，形成相对稳定的原子。

（2）原子核所带的正电量跟核外电子的负电总量相等，所以整个原子是电中性的。如果以电子电荷作为电量的单位，则核电荷的数值就等于核外电子的数目，同时也等于元素的原子序数，即元素在周期表中所占位置的号数。

（3）由于电子的质量很小，因此原子的质量几乎全部集中在它的核上。

3. 原子核也是可分的

放射性元素的发现使人们进一步认识到原子核本身也并不是简单的、不可分的微粒，它也具有复杂的结构。“原子核里头又有质子和中子的对立统一。”

例如，天然放射性元素镭（ $_{88}\text{Ra}^{226}$ ）的原子核能自发地放射出 α 射线（ $_{2}\text{He}^4$ ），并转变为惰性气体氡（ $_{86}\text{Rn}^{222}$ ）：



放射现象说明原子核的结构是复杂的，元素是可以改变的，即一种元素的原子可以转变为另一种元素的原子。

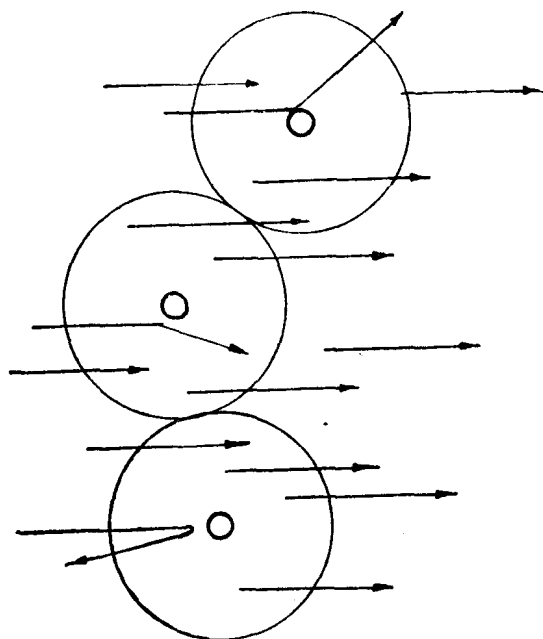
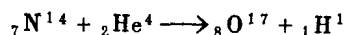


图1—5 α 粒子穿过原子时被散射的情况

随后，在实行用高能粒子冲击原子核的人工原子核裂变时，人们发现了质子和中子。

例如，用 α 粒子冲击氮原子核时，生成氧的同位素 (${}_8\text{O}^{17}$) 和一个质子 (${}_1\text{H}^1$)：

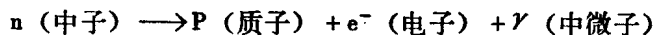
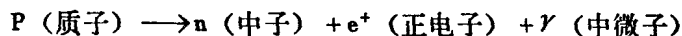


在由 α 粒子引起的另一类核反应中，发现了中子 (${}_0\text{n}^1$)：



自从质子和中子被发现以后，实验和理论都证实了原子核是由质子和中子组成的。质子具有一个单位正电荷（电荷的绝对值等于电子电荷），而中子是不带电荷的。因此，每一原子核中的质子数便等于原子核的电荷数，并等于元素的原子序数（Z）。

“对立统一规律是宇宙的根本规律”万物皆不例外。原子是原子核和电子的对立统一；原子核又是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。总之，对立面的统一是无往不在的。”现代基本粒子领域里的新发现，已经最有说服力地论证了物质的无限可分性和人类对于自然界认识是无穷无尽的。例如科学实验已证明，质子和中子同样也是可分的。即



总之，原子核也是一分为二的，可以分成质子和中子。在不同的核子如质子和中子、质子和质子，中子和中子之间，也存在吸引和排斥的相互作用，正是这种吸引和排斥的斗争在一定条件下的统一，形成了各种不同的原子核。正粒子（质子、中子、电子、中微子……）和反粒子（反质子、反中子、正电子、反中微子……）之间，也是对立的统一，如果相遇，立即转化为其他的粒子，例如电子与正电子相撞，可以转化为一对光子。

在核的自发衰变、宇宙射线和高能核裂变的实验中，现已发现二百多种比原子更小的微粒，除特别短命的以外，有三十多种比较重要，目前通称为“基本粒子”。“基本粒子”内部也充满了矛盾。它也是有结构的、可分的，要用极大的能量才能“解剖”基本粒子。1965—66年，我国高能物理工作者提出了层子结构模型理论，为高能物理学的发展做出了贡献。1972年，我国云南宇宙线观测站发现了一个可能质量大于质子质量十倍的重粒子。迄今为止，已发现的“基本粒子”按它们的质量不同，大致可分成四类：静质量为零的称光子；质量最轻的几种粒子如中微子、电子等总称为轻子；质量较重的几种粒子如质子、中子、超子等总称为重子；质量介于轻子类和重子类之间的粒子为介子。“基本粒子”之间存在着较复杂的相互作用，它们在一定条件下可以互相转化。“基本粒子”只是反映了人类对物质的微观结构的一个认识阶段。从最新一些科学实验结果来看，它们都是物质分割的无限梯级中的各个不同层次。它们可以转化，说明它们内部存在着矛盾和斗争。它们是可分的，所以“基本粒子”并不“基本”。因此物质是无限可分的，人类对于物质世界的认识也是无限的。人类在对自然界的认识过程中必定是不断地有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

1—3. 化学元素和同位素

1. 化学元素的实质

迄今为止，人们已发现有107种化学元素（简称元素），它们组成了大约六百多万种不

同的物质。

什么叫元素？根据现代的观念，元素是原子核中质子数（亦即核电荷数）相同的一类原子的总称。

人们通过科学实验发现，有不少原子的核内所含的质子数是一样的。可是中子数却可以不同。如自然界中的氧原子绝大部分（丰度为99.7587%）是由8个质子和8个中子组成的，但也有少量（丰度为0.2039%）是由8个质子和10个中子，或者由8个质子和9个中子（丰度为0.0374%）组成。因为中子数的不同，所以质子数不同的不同原子的原子质量可以不同，但是决定化学性质的，主要因素不是原子质量，而是原子核外的电子数，而电子数等于核内的质子数，亦即核电荷，所以质子数相同的这类原子，其化学性质是相同的。

这样，人们就进一步了解了元素的本质。元素就是以核电荷为标准而对原子进行分类的一种方法。也就是说，原子的核电荷是决定元素内在联系的关键。

最后，必须注意的是，我们不要把元素、单质、原子三个概念彼此混淆。元素和单质是宏观的概念。单质是元素存在的一种形式（游离态）。某些元素可以形成几种单质，譬如碳的同素异形体有金刚石、石墨和无定形碳；硫的同素异形体有正交硫、单斜硫、无定形硫和弹性硫等。元素只能存在于具体的物质（单质和化合物）中，脱离具体的物质，抽象的元素是不存在的。从这个角度看，元素和单质既有联系，又有区别。

原子是微观的概念，而元素是一定种类的原子的总称。元素符号既表示一种元素，也表示该元素的一个原子。在讨论物质的构造时，原子这个概念又有量的涵义。如氧原子可以论个数，也可以论重量。但元素没有这样的涵义，它指的是同一种类的原子。譬如：水是由氢氧两种元素组成的，水分子中含有两个氢原子和一个氧原子，而绝不能说成水分子中含有两个氢元素和一个氧元素。

2. 同位素

我们将质子数相同（或核电荷数相同），而中子数不同的同种原子互称为同位素。由于质子数相同，在周期表中只占同一格位置，这就是同位素的原义。几乎大多数天然元素，都有好几种同位素。因此，就这个意义上讲，大多数天然元素都是由几种同位素组成的混合物。

同位素由于核外电子数相同，所以它的化学性质是相同的，但由于所含中子数不同，故核的性质不同。因此描述一个确定的核就需要二个量，例如： ${}_{82}^{238}\text{U}$ 右上标为质量数**，左下标为原子序数。

同位素有的是稳定的，称稳定同位素；有的是放射性的，称放射性同位素。目前已知所有元素均有放射性同位素，到1976年为止，已发现的107种元素中，稳定同位素约300多种，而放射性同位素达1500种以上。

目前已经发现氢有三种同位素，在自然界有两种稳定同位素—— ${}_1^1\text{H}$ （氕）和 ${}_1^2\text{H}$ （氘），另有 ${}_1^3\text{H}$ （氚）为人造氢的同位素。氯在自然界有两种同位素： ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ 和 ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ 。碳有三种同位素， ${}_6^{12}\text{C}$ 、 ${}_6^{13}\text{C}$ 为稳定同位素， ${}_6^{14}\text{C}$ 为放射性同位素。同一种元素的各种同位素的原

*到目前为止只有20种元素（例如钠、铝、磷、金等）未发现有稳定同位素，但都有放射性同位素。

**指原子核内中子和质子的总和。

子核虽有差别，但它们的核外电子数和化学性质完全一样。因此同一元素的各种同位素均匀混合地存在于自然界的各种矿物资源中，在化工、冶炼过程中，发生同样的化学反应，最后混合均匀地共同存在于该元素所生成的各种物质之中，我们实验中所接触到的就是各种稳定同位素的混合物。

此外，人们也发现存在着质量相同而性质不同的原子。例如 ${}_{16}\text{S}^{36}$ 和 ${}_{18}\text{Ar}^{36}$ ，虽然质量数都是36，但由于它们的质子数不同，分属于不同的元素——硫和氩。同样的， ${}_{29}\text{Cu}^{65}$ 和 ${}_{30}\text{Zn}^{65}$ ，虽然质量数都是65，但由于它们的质子数不同，也分属于不同的元素——铜和锌。这种质量数相同，但质子数不同，分属于不同元素的原子叫做同量素。同量素的发现，也说明了以核电荷（质子数）作为划分元素的标准是符合客观规律的，是抓住了事物的本质。

第二节 原子量和分子量

2—1. 原子量

原子量是原子的相对质量。确切地讲，原子量是指天然的同位素或其混合物的相对质量。正因为原子量是对 C^{12} 的相对数值，所以原子量本身没有单位。原子量可以通过质谱仪来测定。下面我们着重讨论为什么要采用 C^{12} 做为原子量的标准？原子量又是怎样测定的呢？

1. 1961年国际原子量的新标准

在二十世纪初期，化学界采用了以氧（指自然界中的氧）的原子量为16来作为原子量标准。到1929年发现了氧的同位素。自然界中的氧含有三种同位素，即 O^{16} 、 O^{17} 、 O^{18} 。随后人们通过实验证明氧的同位素丰度在自然界的分布是不均匀的，因而认识到用天然氧作原子量标准不够妥当。物理学界随即采用 $\text{O}^{16} = 16$ 作为原子量标准，但化学界仍然保持了氧原子量等于16的标准。从这时起就有了所谓化学原子量和物理原子量并行的两种标度。这两种标度之间的差别约为万分之三。1940年国际原子量委员会确定以1.000275为两种标度的换算因数：

$$\text{物理原子量} = 1.000275 \times \text{化学原子量}$$

实际上，由于天然氧的丰度是略有变化的，规定换算因数也不是一种妥善办法。由于两种原子量标准并存所引起的矛盾，自然就促进了统一原子量标准的要求。在化学工作中使用原子量的地方很多，因此化学界希望选择一个新标度，并希望这个新标度对原有的原子量数值改变越小越好。经过反复的讨论， H^1 、 He^4 、 F^{19} 、 C^{12} 、 O^{16} 等均曾被考虑过作为新的原子量标准，最后由于以 C^{12} 作标准有许多好处： C^{12} 在碳的天然同位素中所占的相对百分数比较固定，而且对 C^{12} 的质量测定比较精确，最大的好处是，采用 C^{12} 作为原子量的新标准，各元素的原子量变动不大，仅比过去降低了0.0043%。于是在1960年和1961年，国际物理学会和国际化学会先后正式采用以 $\text{C}^{12} = 12$ 作为原子量的新标准。从此，原子量有了统一的新标准，不再存在所谓化学原子量和物理原子量的区别，而统一改称为国际原子量了。

2. 原子量的测定

迄今为止，测定原子量的方法并存着物理测定法和化学测定法。1961年国际原子量表所列原子量的值绝大部分是化学方法测定的。化学法测定某一元素的原子量时，先制备它的纯氯化物和溴化物。向一定量的此卤化物样品溶液中加入等当量的硝酸银溶液，用容量沉淀法测定出该元素的当量，转而求得原子量。物理法测定是采用质谱仪法，它是一种高精密度的仪器（见图1—6）利用质谱仪法可以直接测量出：

- （1）一种元素所含同位素的数目；
- （2）每一种同位素的原子质量；
- （3）元素的同位素丰度。

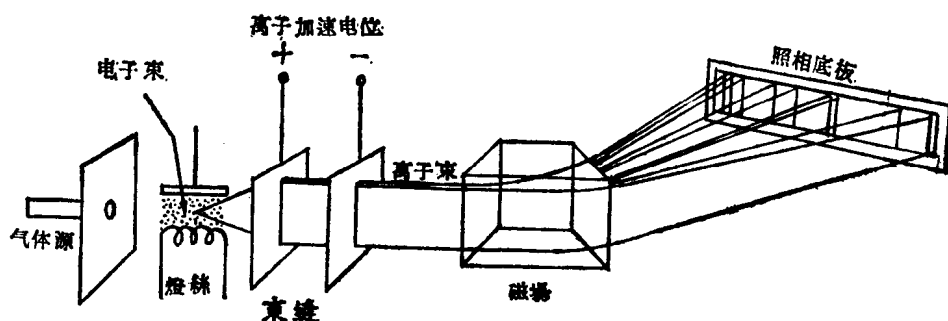


图1—6 质谱仪图示

由这些数据可以直接计算出原子量。质谱仪的原理是简单的。气体（分子或原子）被一束具有高能量的电子所轰击，生成带正电荷的离子被电场所加速，经过一个窄缝，又经过一个磁场，使带正电的离子按圆形轨道前进。离子电荷与质量的比称荷质比 $\frac{q}{m}$ ，具有相同荷质比就按相同的路程前进。荷质比越小，即质量越大，将沿着半径较大的圆形轨道前进。检出器是一照象底板，在底板上能找到该带正电荷离子的映象。它们在照象底板上形成的黑带分布在不同的位置，彼此平行。这样不仅把质量不同的离子分开，且可以从黑带的位置测出质量的大小。从谱线的黑度不同，可以告诉我们不同质量同位素的丰度。例如：测得 C^{12} 的质量为12.0000，丰度为98.892%， C^{13} 的质量为13.0033，丰度为1.108%，因此碳的同位素混合物的原子量是

$$12.0000 \times 98.892\% + 13.0033 \times 1.108\% = 12.011$$

又如 O^{16} 的质量为15.994915，丰度为99.759%， O^{17} 的质量为16.999133，丰度为0.037%， O^{18} 的质量为17.99916，丰度为0.204%，因此氧的同位素的原子量是

$$15.994915 \times 99.759\% + 16.999133 \times 0.037\% + 17.99916 \times 0.204\% = 15.9994$$

需要注意，由于钠没有天然同位素，即在自然界中钠是单一核素*，它的原子量就是 Na^{23} 核素的质量。类似这样的元素有20种，如Be、Na、Al、P、Co、Au等。钠的原子量为22.98977，

*核素：有一定数目质子和中子的一种原子。