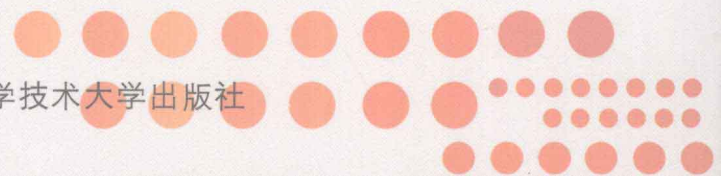


原子物理学

YUANZI WULIXUE

崔宏滨 编

中国科学技术大学出版社



原子物理学

YUANZI WULIXUE

崔宏滨 编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书讲述大学普通物理的“原子物理学”部分,内容包括原子的结构、原子的量子模型、量子力学的初步介绍、原子、分子的光谱和能级,以及原子核的基本知识.书中详细描述了有关原子物理的重要实验,提供了大量的实验数据,利用量子力学的基本知识,通过对实验结果的分析,向读者尽可能详尽地介绍了原子、分子的结构、能级、跃迁、光谱以及原子核的组成、放射性、核反应等方面的知识,以及原子物理学在各个方面的应用.对于处理和研究原子结构、能级、光谱的方法和技巧,做了仔细的说明和论证.书中附有大量图片和实验数据,便于读者参考核对.

本书适合作为大学物理类以及其他理工类本科生的教材,也适合作为其他专业读者的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

原子物理学/崔宏滨编.—合肥:中国科学技术大学出版社,2009.5

安徽省高等学校“十一五”省级规划教材

ISBN 978-7-312-02428-3

I. 原… II. 崔… III. 原子物理学—高等学校—教材 IV. O562

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 056208 号

中国科学技术大学出版社出版发行

地址 安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

网址 <http://press.ustc.edu.cn>

合肥华星印务有限责任公司印刷

全国新华书店经销

开本: 710 mm×960 mm 1/16 印张: 27.5 字数: 520 千

2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1-3000 册

定价: 39.80 元

序

如果将 1895 年伦琴发现 X 射线作为近代物理学开始的标志,那么人类对原子的研究也不过仅有一百余年的历史.但是,在这短短的一百年中,物理学家不仅揭开了原子和其他许多“基本”粒子的神秘面纱,而且成功地将原子研究的成果服务于人类的各项活动,并对社会的生产方式、人们的日常生活以及世界的结构和秩序产生了巨大的影响.正像牛顿力学的建立直接引发了始于英国的工业革命一样,以原子物理学及直接建立在原子物理基础之上的量子力学为核心的近代物理学(另一个同样重要的核心是相对论)也给人类社会带来了一场深刻的革命,这场革命贯穿于整个 20 世纪,具有象征意义的事件就是核能的开发、激光的出现、微电子光电子器件的大规模应用以及对宇宙起源的科学探索.

物理学是一门实验科学,原子物理学尤其如此,因为这门学科的研究对象是微观世界,而微观世界的规律往往是与生活在宏观时空中人们的日常经验相左的.所以,如果离开严密精确的实验,原子物理学就失去了存在和发展的基础.正是基于这一认识,本书始终以实验事实以及对实验分析所得到的结论为出发点,力求为读者提供一份翔实可靠而又合乎物理学逻辑的教学参考资料.

本书第 1 章介绍了汤姆孙发现电子的实验以及卢瑟福确立原子结构模型的 α 粒子散射实验.第 2 章中,首先分析了光谱学实验的结果,以及这些结果与经典物理学理论体系的矛盾.正是为了解决这些经典物理学的困难,玻尔建立了量子化的原子模型.本章还通过多个实验说明了玻尔模型在许多方面所获得的巨大成功.第 3 章开始介绍量子力学的基础知识,通过对多个实验事实的仔细描述和分析,向读者展示了光的粒子性和电子(包括分子)的波动性,引入了德布罗意物质波的思想,并特别强调了“波粒二象性是量子力学的基础”这一重要观点.从波粒二象性出发,自然地得到了不确定关系、态叠加原理以及波函数的统计解释等这些量子力学中最基本的原则,随后介绍了薛定谔方程和不同表象下的力学量算符,并利用该方程计算了几个一维情况下微观体系的波函数和本征值,特别对单个电子在有心力场(库仑势)中的波函数以及电子角动量的本征值做了详细的分析与合理的解释,为之后利用这些理论研究原子的状态做了充分的准备.第 4 章至第 7 章是本书的核心部分,分别介绍了单电子原子、多电子原子、磁场中的原子以及分子的能级和光

序

谱,其中充分地利用了第3章中已经介绍过的量子力学的知识,结合对各种原子光谱的实验研究结果,通过对电子角动量和磁矩的讨论,逐步引入了分析各种不同类型、不同外界条件下(主要是外磁场)原子状态的方法,以及建立在泡利原理基础上的原子壳层模型和元素的周期律,并对简单分子的能级和光谱做了讨论.第8章介绍了原子核的基本知识,由于对原子核以及基本粒子的研究还在不断地深入和发展,所以本章注重向读者展示核物理的实验研究结果.

分析原子和分子以及原子核的状态,离不开量子力学,因而本书以大量的篇幅和充分的资料介绍了量子力学的基本知识.但是,原子物理学不同于量子力学,前者主要以简单有效的方法处理原子的问题,注重实验事实及其合理的解释,而后者则是力求在原子物理实验的基础上建立完整而严谨的逻辑体系,利用数学工具进行理论分析.编者希望本书能为读者日后学习量子力学打好坚实的基础.

相对于其他经典的物理学分支,原子物理学年轻而充满活力,建立和发展了原子物理学科学家们的事迹,宛如就发生在昨天,读者若对这些事迹知之甚少,则是一大遗憾,所以本书用了不少篇幅介绍了他们所做的工作.

作为一本教材,本书的多数读者是第一次学习原子物理学的本科生,所以,提供严格而准确的资料、导出正确而合理的结论从而使初学者开卷有益,是编者的良好初衷.为了避免以讹传讹的弊病,编者对书中涉及的每一个实验、每一个结论,都查阅了许多参考资料,特别是查阅了大量的当年实验研究和理论分析的原始文献;对于用英语之外的其他文字发表的文献,则尽量阅读对这些文献的英文评论和介绍;对于参考资料中不一致的地方,则尽量分析对比,选择合理的结论.书中许多实验装置图示、实验结果图表,都取自当时的科研论文,并注明了出处,方便读者查阅.这样做的目的,不仅仅是为了资料的严谨,也是希望能为读者养成正确的科研工作态度和方法尽一份职责.

由于阅读了大量的文献,再加上多年在中国科学技术大学的教学经验,书中一些地方采用了编者独创的方法,例如第1章中库仑散射公式的推导、第5章中同科电子原子态的分析方法等,希望对读者有所启发.

面对蓬勃发展、日新月异的原子物理学,编者难窥全豹.本书篇幅有限,虽然尽力,不免疏陋.错误不足之处,恳请读者指出,以期有机会加以改正.

崔宏滨

2008年10月10日

于中国科学技术大学

目 录

0 绪论	(1)
0.1 物质的原子观	(1)
0.2 原子是物质结构的一个层次	(6)
0.3 原子物理学研究方法	(7)
0.4 原子是微观体系	(7)
0.5 原子是一种物理模型	(8)
1 原子的核式结构——卢瑟福模型	(9)
1.1 原子时代的序曲	(9)
1.2 原子的结构	(10)
1.2.1 电子的发现	(10)
1.2.2 汤姆孙的原子模型	(16)
1.3 卢瑟福原子模型	(20)
1.3.1 卢瑟福原子核式结构模型	(20)
1.3.2 卢瑟福散射公式	(21)
习题	(34)
2 氢原子的光谱与能级——玻尔模型	(36)
2.1 氢原子的光谱	(36)
2.1.1 光谱	(36)
2.1.2 氢原子的光谱	(38)
2.2 玻尔的氢原子模型	(42)
2.2.1 经典理论解释氢原子光谱的困难	(42)
2.2.2 玻尔的氢原子模型(1913 年)	(43)
2.2.3 氢的里德伯常数实验值与理论值的偏差	(48)
2.2.4 氢原子的连续谱	(49)

目 录

2.3 类氢离子的光谱	(50)
2.3.1 类氢离子与皮克林线系	(50)
2.3.2 氦的发现	(52)
2.4 夫兰克-赫兹实验	(53)
2.4.1 基本思想	(53)
2.4.2 夫兰克-赫兹实验装置与实验结果	(54)
2.4.3 改进的夫兰克-赫兹实验装置	(55)
2.5 玻尔理论的推广	(57)
2.5.1 量子化通则	(57)
2.5.2 椭圆轨道	(58)
2.5.3 系统的能量	(62)
2.5.4 玻尔理论的相对论修正	(63)
2.6 斯特恩-盖拉赫实验与空间量子化	(66)
2.6.1 电子轨道运动的磁矩	(66)
2.6.2 外磁场对原子的作用	(67)
2.6.3 斯特恩-盖拉赫实验	(68)
2.6.4 轨道取向的量子化	(70)
习题	(72)
3 量子力学引论——微观体系的基本理论	(75)
3.1 量子论的实验依据	(77)
3.1.1 黑体辐射	(77)
3.1.2 光量子假说	(84)
3.1.3 粒子的波动性	(89)
3.2 物质的波粒二象性	(95)
3.2.1 物质的波动性与粒子性	(95)
3.2.2 量子态——波粒二象性的必然结果	(97)
3.3 不确定关系	(99)
3.3.1 几个典型的例子	(99)
3.3.2 不确定关系的严格表述	(101)
3.4 波函数与薛定谔方程	(106)

3.4.1	波粒二象性的数学描述	(107)
3.4.2	电子的双缝干涉实验	(107)
3.4.3	波函数的统计解释	(111)
3.4.4	薛定谔方程	(112)
3.4.5	力学量的算符	(115)
3.4.6	表象与力学量的平均值	(116)
3.4.7	本征函数与本征值	(119)
3.5	态叠加原理	(120)
3.5.1	对双缝干涉实验的另一个思考	(120)
3.5.2	光的偏振性实验	(122)
3.5.3	量子态的叠加	(123)
3.6	定态薛定谔方程问题	(124)
3.6.1	一维简谐振子	(124)
3.6.2	一维无限深势阱	(126)
3.6.3	有限深方势阱	(129)
3.6.4	方势垒	(132)
3.7	单电子原子的波函数	(136)
3.7.1	哈密顿方程及其本征函数的解	(136)
3.7.2	解的物理意义	(139)
3.7.3	能量和角动量	(148)
	习题	(150)
4	单电子原子的能级和光谱——电子的角动量模型	(154)
4.1	单电子原子的光谱	(154)
4.1.1	单电子原子	(154)
4.1.2	碱金属原子的光谱与能级	(156)
4.1.3	碱金属原子光谱与能级的精细结构	(160)
4.2	电子的角动量与电子的自旋	(161)
4.2.1	电子轨道运动的角动量与原子的磁矩	(161)
4.2.2	自旋的引入	(161)
4.3	自旋-轨道相互作用	(163)

目 录

4.3.1 电子轨道运动的磁场	(163)
4.3.2 电子的总角动量	(165)
4.3.3 自旋-轨道相互作用对能级的影响	(168)
4.3.4 原子态的符号表示	(171)
4.4 单电子跃迁的选择定则	(171)
4.5 氢原子光谱的精细结构	(173)
4.5.1 对玻尔能级的相对论和量子力学修正	(173)
4.5.2 兰姆移位	(180)
4.6 斯塔克效应	(181)
4.6.1 外电场对原子能级和光谱的影响	(181)
4.6.2 斯塔克效应的物理机制	(183)
习题	(183)
5 多电子原子——电子间的相互作用	(186)
5.1 氢原子的光谱与能级	(186)
5.1.1 氢原子	(186)
5.1.2 价电子间的相互作用	(188)
5.2 两个价电子的耦合	(192)
5.2.1 中心力场近似下的角动量	(192)
5.2.2 价电子角动量的耦合	(194)
5.3 泡利不相容原理	(205)
5.3.1 全同粒子与交换对称性	(205)
5.3.2 泡利原理	(206)
5.3.3 两电子体系中电子的自旋	(207)
5.3.4 原子可能的状态	(209)
5.4 等效电子构成的原子态	(210)
5.5 复杂原子的能级和光谱	(216)
5.5.1 实验观察到的一般规律	(216)
5.5.2 多个价电子形成的原子态	(217)
5.5.3 辐射跃迁的选择定则	(221)
5.6 原子的壳层结构	(223)

5.6.1 元素的周期律	(223)
5.6.2 核外电子的壳层	(226)
5.6.3 基态原子的电子组态	(227)
5.6.4 原子的基态	(234)
5.7 X射线	(236)
5.7.1 X射线的产生及其性质	(236)
5.7.2 X射线的连续谱	(240)
5.7.3 X射线的标识谱	(240)
5.7.4 X射线的吸收	(248)
习题	(250)
6 磁场中的原子	(254)
6.1 原子的磁矩	(254)
6.1.1 原子的有效总磁矩	(254)
6.1.2 朗德 g 因子	(256)
6.2 外磁场中的原子	(259)
6.2.1 外磁场对原子的作用	(259)
6.2.2 外磁场中原子能级的分裂	(260)
6.2.3 对斯特恩-盖拉赫实验的解释	(261)
6.2.4 顺磁共振	(261)
6.3 塞曼效应	(265)
6.3.1 现象	(265)
6.3.2 解释	(266)
6.4 帕邢-巴克效应	(271)
6.4.1 强磁场中的原子	(271)
6.4.2 强磁场中能级的分裂与辐射跃迁	(272)
习题	(273)
7 分子的结构和光谱	(276)
7.1 原子间的键联与分子的形成	(276)
7.1.1 原子的电离能与亲和势	(276)
7.1.2 离子键	(280)

目 录

7.1.3 共价键	(283)
7.1.4 金属键	(285)
7.1.5 范德瓦耳斯键	(287)
7.2 分子的能级与光谱	(287)
7.3 双原子分子的电子态	(288)
7.4 双原子分子的振动光谱	(291)
7.4.1 双原子分子的振动能级	(291)
7.4.2 双原子分子的振动光谱	(293)
7.5 双原子分子的转动光谱	(295)
7.5.1 双原子分子的转动能级	(295)
7.5.2 双原子分子的转动光谱	(296)
7.6 拉曼散射	(301)
7.6.1 斯托克斯线与反斯托克斯线	(301)
7.6.2 拉曼光谱	(304)
习题	(307)
8 原子核物理概论	(309)
8.1 原子核的基本情况	(310)
8.1.1 粒子探测器	(310)
8.1.2 物质的放射性	(313)
8.1.3 原子核的构成	(314)
8.1.4 原子核的大小	(318)
8.1.5 原子核的电荷与质量	(319)
8.1.6 核素	(320)
8.1.7 原子核的结合能	(322)
8.2 核力	(326)
8.2.1 核力的特性	(327)
8.2.2 核力的介子理论	(328)
8.3 核矩	(329)
8.3.1 核自旋	(329)
8.3.2 核子的磁矩	(330)
8.3.3 核的磁偶极矩	(331)

8.3.4 核的电四极矩	(331)
8.4 原子核结构的模型	(333)
8.4.1 费米气体模型	(333)
8.4.2 液滴模型	(337)
8.4.3 壳层模型	(339)
8.4.4 集体模型	(342)
8.5 放射性核衰变	(343)
8.5.1 放射性衰变的一般规律	(343)
8.5.2 α 衰变	(352)
8.5.3 β 衰变	(355)
8.5.4 γ 衰变	(360)
8.6 核反应	(365)
8.6.1 反应能与 Q 方程	(366)
8.6.2 反应截面	(368)
8.7 核裂变	(369)
8.7.1 核裂变的发现及其特点	(369)
8.7.2 实现核裂变的主要方式	(371)
8.8 核聚变	(375)
8.8.1 核聚变的能量	(375)
8.8.2 核聚变的条件	(377)
习题	(378)
附录	(381)
1. 物理学常数表	(381)
2. 原子基态能量	(385)
3. 基态原子的电子组态	(386)
4. 原子的基态	(387)
5. 常用物质密度表	(388)
6. 元素的原子质量及同位素丰度	(389)
7. 1900~2008 诺贝尔物理学奖	(408)
8. 习题参考答案	(418)

0 绪 论

0.1 物质的原子观

原子物理学是关于物质微观结构的科学,研究对象是原子的组成及其内部微观体系的运动规律与物理性质.与物理学的其他分支不同,原子物理学的建立仅仅有不到一百年的历史;但是,在这短短的百年之中,它却获得了快速的发展,取得了一系列令人瞩目的重要成果,极大地更新了人们对物质结构的认识.更重要的是,原子物理的研究成果很快在各个领域得到应用,使得社会的面貌和人类的生活出现了巨大的改变.

但是,人类对于物质结构奥秘的探求,却起始于距今遥远的古代.那时,既没有研究仪器和研究手段,也缺少其他学科知识的支持.然而,好奇心驱使人类对物质的结构作出了种种的猜想.

0.1.1 古代关于物质结构的观点

人们肉眼可见的、或者可以直接感知到的物体,千姿百态、性质迥异.很久以前,人们就想知道组成世间万物的最基本的东西是什么.于是中国古代就有了五行之说,认为所有的东西都是由金、木、水、火、土这五种基本元素组成.而古希腊也有类似的思想,认为组成物质的基本元素是水、火、空气和泥土.

人们想了解的另一个问题则是,物质是不是可以无限地分割?是否存在一个最小的基本结构单元?而这样的一个最小的结构单元是否还能保持物质原有的各种属性?

在几千年以前,人们当然无法将任何物质无限地细分,于是就有了各种各样的假说与猜想.其中一种观点认为存在一个最小的物质结构单元,它是不可以再进行分割的;另一种观点则相反,认为任何物质都可以无限细分下去,永无止境.由于

上述各种观点都不是建立在实验的基础之上,所以只是朴素的哲学观点.

1. 存在一个最小的单元,它是不能再分割的

中国战国时代著名的哲学著作《墨子》记录了墨家学派创始人墨翟(前 479~前 381)及其追随者的思想和言论.其中《经上·第四十》的六十一条说道:“端,体之无序最前者也.”体,是指各种各样的物质,即世间万物;序,可以理解为次序、大小,等等;最前,则是最小的、最基本的、最初始的.则这句话可以理解为,存在一种被称作“端”的东西,它就是物质的最小结构单元.而当时名家学派的代表人物惠施(约前365~前 310)也说:“至小无内,谓之小一.”即小到没有内部结构的东西,被称作小一.而在比惠施年代更早的儒家著作《中庸·第十二章》里说道:“语小,天下莫能破焉.”这段话被宋代的朱熹(1130~1200)解释为:“天下莫能破是无内,谓如物有至小而可破作两者,是中着得一物在;若无内则是至小,更不容破了.”则“莫能破”、“无内”,就是不可再分割的意思.就是认为物质存在不可再分割的最原始单元.

而古希腊的留基伯(Leucippus,希腊语 Λεύκιππος,约前 500~前 440)和他的继承者德谟克利特(Democritus,希腊语 Δημόκριτος,约前 460~前 370)也是最著名的两个持上述观点的人.留基伯认为世间万物都是由不可分割的物质,即原子组成的.宇宙间的原子数是无穷无尽的,它们的大小、形状、重量等都各自不同,不能毁灭,也不能被创造出来.德谟克利特进一步发展了留基伯的观点.认为宇宙万物皆由大量的极微小的、硬的、不可穿透的、不可分割的粒子所组成,他称这些粒子为原子(希腊语 ατομα,即“不可分割”的意思).而物质世界就是原子和虚空.各种原子没有质的区别,只有大小、形状和位置的差异;原子在“虚空”里不断地运动;它们集合时形成物体,分离时物体就消灭.古希腊后期的伊壁鸠鲁(Epicurus,希腊语 Ἐπίκουρος,前 372~前 271)和古罗马的卢克莱修(Lucretius,前 99~前 55)继承和发展了德谟克利特的学说,认为各种原子在质上也有差异.

20 世纪初,严复翻译了《穆勒名学》(即《System of Logic》,作者为英国人 John Stuart Mill,出版于 1843 年)一书,第一次把 Atom 一词介绍到我国,当时他将 Atom 译为“莫破”,而把 Atomic Theory 译为“莫破质点律”,大概就是以《中庸》书里的字句为渊源的.

2. 可以无限分割,物质是连续的;任何物质,都可以无限地分割下去,无穷无尽

中国战国时期的公孙龙说过,“一尺之棰,日取其半,万世不竭.”这句名言流传千古,非常形象地表达了物质是连续的、可以无限细分、不存在最小结构单元的思想.而在同一时期,古希腊的亚里士多德(Aristotle,希腊语 Αριστοτέλης,前 384~前 322)、阿那克萨哥拉(Anaxagoras,希腊语 Αναξαγόρας,前 488~前 428)也主张

同样的观点.

这种观点是根据人们日常的经验加上想象所得到的,与物质不能无限细分的观点比较起来,这种观点更加符合人们的思维,因而也更加容易被人们所接受.另外,这一观点从数学上看是正确的,从哲学上看似乎也是正确的.但是,似乎缺少一些思辨的内涵.

其实,上述两种观点,由于都是基于想象而提出来的,并没有任何实验证据,所以,只能说是人们对于物质结构所作的哲学假设.从物理上看,缺少实验的数据和严格的逻辑,因而,这种想当然的结论是不能作为物理上的观点被接受的.

0.1.2 近代原子观的建立

“原子”被确认为一种真实的存在,当然是实验研究和科学进步的结果.而事实上,近代关于原子的学说起始于对物质化学性质的研究.在中国和西方的历史上,“炼金术”都曾经风行一时.有人确信,可以将汞、硫以及其他矿物混合,通过冶炼而获得黄金.虽然没有一个炼金术士获得成功,但他们不懈的努力却积累了大量的资料,所以有人认为化学起源于西方的炼金术.

没有了黄金的诱惑,也远离了法术的干扰,化学家们能够以科学的态度对待物质的变化.他们注意到,在种种的化合与分解反应中,有些东西总是不变的,并没有经过反应而消失或创生.这些东西被称作元素.波义耳(Robert Boyle, 1627~1691,爱尔兰自然哲学家),是这门科学诞生时出现的化学家中的一位,他的成就不仅仅是建立了著名的波义耳气体定律,而且在化学研究领域也做出了重要的贡献.在他的《怀疑派的化学家》(1661年出版)一书中,第一次建立了元素的明确的新准则:元素是一种基质,它能与其他的元素结合成化合物,相反地,任何一种元素从一种化合物中分离出来后,就不能再分解成任何更简单的物质了.也就是说,元素是一种基本物质,是不可以进一步分解的.不同的元素可以结合为性质迥异的化合物,但一种元素不可能通过反应变为另一种元素.而金就是一种元素,这就证明了炼金术士的一切努力都是妄想.

法国人拉瓦锡(Antoine-Laurent de Lavoisier, 1743~1794),首先根据严格的实验数据总结出了化学反应过程中的质量守恒定律,写出了第一个化学反应方程式.在1789年出版的《化学概要》里,拉瓦锡列出了包含33种元素的一览表.当然,书中有些被他认为是元素的东西,后来被其他科学家证明实际上是化合物.

1799年,法国化学家普鲁斯特(Joseph Louis Proust, 1755~1826)证明,无论怎样制备碳酸铜,其所含铜、碳和氧的质量比例都是一定的,而且该比例是很小的整数比,为5:4:1.对于其他一些化合物,他也陆续证明了有相似的情况.1806

年,普鲁斯特提出了化合物的分子定组成定律.

英国化学家道尔顿(John Dalton, 1766~1844)首先提出了近代的原子概念. 1803年,道尔顿在他笔记中写下了原子论的要点: ① 原子是组成化学元素的、非常微小的、不可再分割的物质微粒. 在化学反应中原子保持其本来的性质; ② 同一种元素的所有原子的质量以及其他性质完全相同,不同元素的原子具有不同的质量以及其他性质,原子的质量是每一种元素的原子的最根本特征; ③ 有简单数值比的元素的原子结合时,原子之间就发生化学反应而生成化合物,化合物的原子称为复杂原子; ④ 一种元素的原子与另一种元素的原子化合时,它们之间成简单的数值比. 道尔顿保留了古希腊字“原子”以表示对古代思想家的赞赏之意. 1807年,他提出了倍比定律. 道耳顿在 1808 年出版了一本书,书中收集了过去 100 年的化学资料,并且证明,如果假设所有的物体都是由不可分割的原子所组成,那么其中有一半的资料都可得到解释. 道耳顿的原子概念提出后不久,就被大部分的化学家所接受.

1808年,盖·吕萨克(Louis Joseph Gay-Lussac, 1778~1850, 法国物理学家和化学家)提出了气体反应中的化合体积定律,即气体的化学反应中,反应物和生成物中各组分的体积比例保持不变.

1811年,阿伏伽德罗(Amedeo Avogadro, 1776~1856 意大利)提出了阿伏伽德罗定律,即在同一温度、同一压强下,体积相同的任何气体所含的分子数都相等.

1826年,英国植物学家布朗(Robert Brown, 1773~1858)观察到了液体中悬浮微粒的无规则运动,物理学家将这种运动称作布朗运动(Brownian motion),对布朗运动的研究,为确认物质结构的原子性提供了重要的依据.

1833年,法拉第(Michael Faraday, 1791~1867, 英国)发现物质在电解过程中参与电极反应的质量 m 与通过电极的电量 Q 成正比,据此提出了电解定律. 法拉第电解定律启发物理学家形成了电荷具有原子性的概念,即原子所带的电荷数是不变的,这对于导致基本电荷的发现以及建立物质的电结构理论具有重大意义.

1869年,门捷列夫(Дмитрий Ива́нович Менделѣев, 1834~1907, 俄国)最先发表了元素周期律.

经过了科学家们一百年的工作,从化学上证明了单个原子的存在.

0.1.3 原子的质量和体积的估算

在 19 世纪,依据当时已有的科学理论和物质的性质,可以估算出单个原子的

质量和体积.

1. 原子质量的估算

1 摩尔原子的物质中,都包含有相同数量的原子.这就是阿伏伽德罗定律.而原子量则是以克为单位的 1 摩尔原子的质量,于是,单个原子的质量为

$$M = \frac{A}{N_A}$$

其中, A 为原子量,单位为克, N_A 为阿伏伽德罗常数, $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

2. 原子的体积

(1) 可以由密排晶体计算

固态物质不像气体那样容易被压缩,所以可以认为是由原子密排堆积形成的.假设每一个原子都是球形的,则密排堆积的方式有各种各样,其中间隙最大的堆积方式是立方密排(图 0.1),即球心构成立方体;而间隙最小的堆积方式是六角密排(图 0.2),即球心都相互错开 60° .

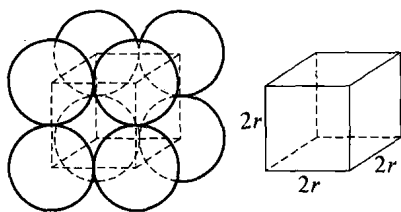


图 0.1 立方密排

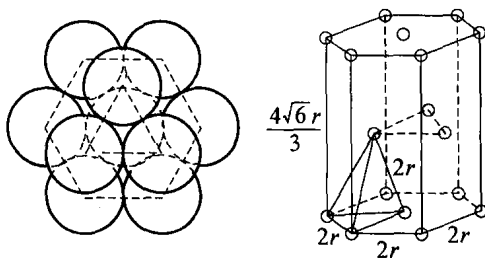


图 0.2 六角密排

立方密排时,每个原子在固体中所占的体积为 $8r^3$.而六角密排时,图 0.2 中六

棱柱的底边长为 $2r$,高为 $2\sqrt{(2r)^2 - \left(\frac{2}{3}\sqrt{3}r\right)^2} = \frac{4\sqrt{6}}{3}r$,而每个六棱柱中含有 6 个原子,于是每个原子所占的体积为

$$V = 6 \times \frac{1}{2} \times 2r \times \sqrt{3}r \times \frac{4\sqrt{6}}{3}r / 6 = 4\sqrt{2}r^3$$

于是六角密排时,质量密度