

646345



中学物理教师用书



# 原子和原子核物理

张维善

北京教育出版社



# 原子和原子核物理

张 维 善

北京教育出版社

## 内 容 提 要

本书分四部分：一、原子结构及其初期量子理论；二、微观粒子的波动性；三、原子的壳层结构；四、原子核物理。全书以原子和原子核科学的理论知识与其历史发展的实际过程相结合的方式，讲述了原子和原子核物理的基本内容。

### 原子和原子核物理

Yuanzi He Yuanzhe Wuli

张 维 善

\*

北京教育出版社出版

(北京北三环中路6号)

新华书店北京发行所发行

马 池 口 印 刷 厂 印 刷

\*

787×1092毫米 32开本 11.25印张 245,000字

1987年11月第1版 1987年11月第1次印刷

印数 1-2,000

ISBN 7-5303-0010-5/0·5

书号：7327·6 定价：2.05元

## 编者的话

中学物理教学的不断发展和改革，对广大物理教师在业务上提出了新的要求。为了帮助教师深入理解物理学基础理论的主要内容，以便高屋建瓴地驾驭教材，我们编写了这套《中学物理教师用书》。

这套丛书按照全日制重点中学教材系统选题，每个选题自成系统，分册出版（书目见后）。每一分册基本上与中学物理课本的一章相对应。这套书不是供教师直接用于讲课的教学参考资料。它是从普通物理的高度或运用理论物理的观点，对中学物理中重要概念、规律的来龙去脉以及与有关知识的联系，进行较系统的分析和阐述，把高等师范院校物理课与中学物理课的知识加以沟通。书中对中学物理教师在教学中遇到的学生难于理解、掌握的内容和常见的错误，进行了深入的分析。为了开阔教师思路，本套书也适当提供了一些与基本概念、规律、方法有关的物理学史资料；对中学物理课所涉及的物理学内容至今的发展状况以及近代物理知识，也做了一些介绍。

这套书是应广大中学物理教师的要求而写的。在确定选题、制定编写方针的过程中，北京师范大学的阎金铎同志、北京15中学的周誉蒿同志和北京师范大学的乔际平同志提了许多有益的建议、做了很多工作。本套书各册的提纲都是经王天谔、王杏村、申先甲、乔际平、周誉蒿、张维善、唐树德、常利、钱玄、梁敬纯、阎金铎、缪秉成、魏凤文等同志

集体讨论确定的。

我们希望这套书能够对中学物理教师进修提高和钻研教材都有用处。但由于我们的水平所限，很难如愿。盼望广大中学物理教师在使用中提出宝贵意见。

本书经北京市特级物理教师张继恒同志审阅。

一九八四年十二月

## 前 言

本书试图以原子物理和原子核物理的理论知识与这门科学的实际发展过程相结合的方式，对原子和原子核的基本问题进行论述。因此，在各章节中，都介绍了一些历史发展的真实情况，包括前辈物理学家的思考、实验、归纳和推理的过程。这样，读者将能比较好地了解原子和原子核物理学的概念是怎样形成和演变的，它的理论体系又是如何发展和不断完善起来的，即它们怎样从大量的实验事实中总结出来，又怎样不断为更新的实验事实所补充和修正。

作者希望诸位读者，特别是中等学校物理教师不但能从本书中获得若干有用的知识，而且还能够进一步体会和掌握一些物理学研究方法，增长获取知识和探索问题的勇气。

但是，由于作者的专业水平不高，掌握的资料也很有限，所以在实现上述愿望时，确实感到力不从心，因此一定会有错误和不妥之处。恳请多方面的指教。

作者 于北京教育学院

1984年10月

# 目 录

前言.....	6
一、原子结构及其初期量子理论.....	1
(一) 科学原子论的确立.....	1
1. 原子论的兴起与蒙难.....	1
2. 原子论的复活.....	3
3. 化学与原子论.....	4
4. 分子运动和原子论.....	8
5. 原子的直接观察.....	11
(二) 电子的发现.....	12
1. 气体放电和阴极射线.....	12
2. 电子的发现.....	15
3. 电子电荷的测定.....	21
(三) $\alpha$ 粒子散射实验与原子的核式结构.....	22
1. $\alpha$ 粒子散射实验.....	23
2. 卢瑟福的原子结构模型.....	27
3. 卢瑟福原子模型的实验验证.....	31
4. 原子核大小的推断.....	38
(四) 氢原子光谱的规律.....	40
1. 光谱.....	40
2. 氢原子光谱规律的发现.....	43
3. 原子光谱的一般情况.....	45
(五) 能量量子化与光量子.....	46
1. 热辐射和能量的量子化.....	47
2. 光电效应和光量子.....	67

(六) 玻尔的氢原子理论 .....	77
1. 原子的稳定性与光谱的分立性问题 .....	78
2. 玻尔的原子理论 .....	81
3. 氢原子中电子轨道半径的量子化 .....	84
4. 氢原子能量的量子化 .....	86
5. 氢原子光谱规律的解释 .....	86
6. 原子能级存在的实验验证 夫兰克—赫兹实验 .....	93
(七) 氢原子的椭圆轨道与空间量子化 .....	99
1. 量子化通则 .....	100
2. 氢原子的椭圆轨道 .....	102
3. 空间量子化 .....	108
(八) 原子的激发和辐射 激光原理 .....	115
1. 原子同实物粒子的碰撞 .....	115
2. 原子按能级的分布 .....	116
3. 原子的自发辐射 .....	117
4. 原子的受激辐射 .....	119
5. 激光的原理 .....	121
二、微观粒子的波动性 .....	125
(一) 玻尔理论的成就与局限性 .....	125
(二) 波粒二象性与物质波 .....	128
1. 光的波粒二象性 .....	129
2. 德布罗意假设 .....	133
(三) 物质波实验验证 .....	134
1. 光显示波动性的条件 .....	135
2. 电子的衍射实验 .....	139
3. 电子的干涉实验 .....	149
4. 其他微观粒子的波动性 .....	152
5. 宏观物体也具有波动性吗 .....	152
(四) 波函数及其几率解释 .....	153



1. 微观粒子二象性疑难 .....	154
2. 波函数 .....	158
3. 几率波 .....	161
(五) 测不准关系 .....	166
1. 坐标和动量的测不准关系 .....	167
2. 能量和时间的测不准关系 .....	170
3. 测不准关系与轨道概念 .....	172
(六) 薛定谔方程 .....	175
1. 薛定谔方程的提出 .....	176
2. 不显含时间的薛定谔方程 定态 .....	179
3. 代表力学量的算符 .....	183
(七) 用薛定谔方程解氢原子问题 .....	187
1. 氢原子的波函数 .....	187
2. 氢原子的能级 .....	192
3. 角动量 .....	193
4. 电子的几率分布 .....	195
5. 简短的评述 .....	204
三、原子的壳层结构 .....	208
(一) 电子自旋 .....	208
1. 原子的磁矩 .....	209
2. 史特恩——盖拉赫实验及其提出的问题 .....	211
3. 电子自旋角动量和自旋磁矩 .....	215
4. 史特恩——盖拉赫实验的解释 .....	217
(二) 元素性质的周期性变化 .....	221
1. 元素周期表 .....	222
2. 元素电离能的周期性变化 .....	223
3. “原子体积”、体胀系数和压缩系数的周期性 .....	223
(三) 电子壳层与泡利原理 .....	225
1. 电子状态 .....	225

2. 电子壳层与泡利原理 .....	227
3. 主壳层、次壳层及其容纳的电子数 .....	228
(四) 基态原子的电子壳层填充情况 .....	229
四、原子核物理 .....	241
(一) 原子核的电荷、质量和大小 .....	241
1. 原子核的电荷 .....	241
2. 原子核的质量 .....	242
3. 原子核的大小 .....	244
(二) 原子核的放射性衰变 .....	247
1. 放射性的发现 .....	248
2. 原子核放射性衰变的类型 .....	252
3. 原子核衰变的基本规律 .....	257
4. 放射系 .....	265
(三) 原子核的构成和核力 .....	271
1. 原子核的构成 .....	272
2. 核力 .....	281
3. 原子核的模型 .....	295
(四) 原子核的结合能 .....	297
1. 原子核的结合能 .....	297
2. 质量和能量的关系 .....	298
3. 质量亏损 .....	303
4. 结合能的计算 .....	304
5. 平均结合能和原子核的稳定性 .....	305
(五) 原子核反应 .....	308
1. 核反应的实现及守恒定律 .....	309
2. 核反应中的能量问题 .....	315
(六) 原子核的裂变和聚变 .....	323
1. 原子核裂变的发现 .....	324
2. 原子核裂变的过程 .....	327

3. 原子核裂变能的应用 .....	330
4. 原子核的聚变 .....	334
(七) 基本粒子概况 .....	337
1. 概述 .....	337
2. 基本粒子的分类及其相互作用 .....	339
3. 基本粒子的结构 .....	343

# 一、原子结构及其初期量子理论

## (一) 科学原子论的确立

物质是由什么构成的？这是一个古老而又年轻的问题。

自古以来，人类对于自己所生活着的世界总是力图有更多和更深的了解。在远古时代的我国，曾出现过“万物皆由地、水、火、风和空气形成”的五行说；在公元前六世纪的古希腊，泰勒斯提出过“水为万物之本”，等等。这些说法的基本思想是，多种多样的物质都是由少数几种基本实体构成的。

在经过了多少代的辛勤探索之后，人类终于建立起今天的以基本粒子为基础的物质观。然而，如果要问：“基本粒子是什么？”人们也还不能作出满意的、肯定的回答。因为近二、三十年来，所谓的基本粒子的种类迅速增加，而且从这些粒子的性质来分析，可以知道有些还有内部结构，很难再说是基本粒子了。因此，在基本粒子背后，究竟有哪些使它们存在、产生和湮灭的因素？还存在着许多疑难之谜。

### 1. 原子论的兴起与蒙难

被人类最早认定的“基本粒子”是原子。公元前五世纪，希腊哲学家来乌起保斯和德谟克利特提出，在物质中存在着不能再分的最小单位，物质就是由这种最小单位——原子构成的。据说，有一天，德谟克利特从地上抓起一块泥

土，对他的学生们说：“我发现伟大的原理就隐藏在我手里这块天然的泥土中。”他把泥土弄成细末，并说道：“由于我的手指太粗糙，因此，无法把泥土粉末再搞细。但是，假设这些小细粒仍可再分，我们应该料想到，只要有合适的工具我便能把它们分割成更小的微粒，而且这些被分割的微粒还可被分成更微小的微粒。现在若问我能不能没完没了地分割下去，我的回答是：‘不能’！因为迟早我会得到一个不可再行分割的泥土微粒。这些不可再分割的无限小的粒子，人们称之为‘不可分割的粒子’，或是原子——我给它取名为原子！”

当看到学生们惊奇的目光后，他又说道：

“你们觉得很难接受，是不是？的确很难。但我会帮助你们。你们看见远处那片树林吗？由这里望去，它象是一堵密不透风的绿墙。但走近一看，穿过它并不费事，它表面上是一堵坚硬的绿墙，其实是树干和枝叶编成的疏网。”

“所以说，正象那绿墙是由树干和枝叶组成，……大自然中万物都是由看不见的微小粒子——原子——构成。……原子不能消失，它们永远不会消失，但也不会突然无中生有。”

“世界上有甜有苦，有冷有热，有芳香，有色彩。但实际存在的只有原子和空间。……世界上出现的一切都是原子运动的结果——它们的聚集、结合，产生了可见的结果。”

从现代科学的观点来看，德谟克利特的原子论，也有许多方面是正确无误的。但是，他没有也不可能人类文明刚刚发祥的时候，就找到证明原子实际存在的实验方法与手段。因此他们的原子论尽管具有唯物论观点，并以物质为根据来寻求自然界的多样性和规律性的统一，也仍然只能被视

为思辨上的臆说，即只依靠思索，而没有了解和观察。

德谟克利特的原子论遭到了他的学生亚里斯多德的反对。尤其是到了基督教兴起以后，除了亚里斯多德的学说之外，在神学支配下，其他一切希腊哲学，包括作为古希腊唯物论顶峰的德谟克利特的原子论，都被禁止了。

## 2. 原子论的复活

在整个漫长的中世纪，差不多有一千九百年的时间，没有人敢向亚里斯多德的权威挑战，学校的老师们只是一再强调，一切知识都可以在亚里斯多德的著述中找到。到了十六世纪，文艺复兴开始了；新大陆被发现；火药、指南针和印刷术也已发明……。这一切新事物的出现表明，用精确的实验来检验亚里斯多德观念，澄清是非真伪的时候已经到了。

年轻的意大利科学家伽里略发动了批驳亚里斯多德的“战役”，并一直坚持到两鬓苍苍、双目失明。他高超的实验和卓越的见识把亚里斯多德的错误观点粉碎无余。虽然伽里略主要是在天体运行和一般物体的机械运动方面，澄清了近两千年间使科学停步不前的许多误会，并未在物质的原子论方面投入多少精力，但是他把实验与结果紧密相连，奠定了科学思想的基础，同时又明确地接受了原子论。因此使德谟克利特的观点复活，并为后来通过实验证实原子存在的人们开辟了道路。

伽里略于1642年去世，这已是十七世纪中期了。当时发展起来的自然科学主要是力学，所以在这时重新复活的原子论也明显地带有机械的、力学的色彩。例如，以法国学者彼埃尔·加桑迪为首的原子论拥护者们，把原子想象为细小的

机器零件，它们上面有钩、棘、突起等，认为原子的结合就象普通物体间的连结似的，是由这些钩、棘、突起来实现的。

在伽里略去世的同年，牛顿在英国诞生了。如果说由于伽里略主张研究自然界必须进行系统的观察和实验，从而使自然科学、尤其是物理学进入一个新阶段的话，那么牛顿就是伽里略的伟大接力者。他发现了万有引力定律，建立了一套相当完整的力学理论体系，能够说明众多物理现象，例如圆满地解释了天体的运动。由于牛顿引入了在空间中互相并不接触的物体之间也存在着相互作用力的概念，因而他认为物体结合并不一定需要接触。他还把这种相互作用力的概念应用于原子，认为原子图象就和天体图象一样，把极小的原子和极大的天体对应起来。他认为原子是很小的球状粒子，在这些原子之间存在着和万有引力相类似的作用力，并由此而相结合。这样，原子就不再需要过于人为的“钩”、“棘”和“突起”了。

### 3. 化学与原子论

爱尔兰科学家罗伯特·玻义耳首先用原子论解释物理和化学现象。他在1661年所著的《可疑的炼金术士》一书中提出，多数的物质可以由其他物质通过化学反应来合成，另外一些物质则不能由其他物质通过化学反应来合成。这种不能由其他物质合成的物质，玻义耳称之为“元素”；而可以由其他物质合成的那些物质，则被他称之为“化合物”。玻义耳把合成和分解恰当地对应起来，因而又从另一角度指出同样内容：一切物质都能以元素和化合物分类。凡不能以化学手段分解的物质就是元素，能够分解成其他更简单物质的物

质是化合物，即元素的化合物。最根本的是，他还认为，对应着各种元素存在着各种原子，元素之所以有差异，就在于它们的原子是不相同的。

一个世纪之后，玻义耳的观点被普遍地接受了，因为化学的实验技术有了进步，并且相继发现了氢、氮、氧等元素。

法国化学家安托尼·劳伦特·拉瓦锡在历史上第一个用干净器皿和化学天平从事实验工作，这自然有助于获得精确的实验结果。1772年11月1日，他给法兰西科学院寄去一封沉甸甸的密封信。在信中以大量的数据资料宣布，在精密地测定了化学反应前后的物质质量之后，他发现了一个极为重要的事实：在化学反应前后，物质质量的总和保持不变。这表明，物质的性质虽然因化学反应而发生了变化，但是物质是守恒的。这就是著名的拉瓦锡定律。它对于认为原子是不可分割的，而且也是不能消失或无中生有的原子论学说，无疑是一个很好的证据。

廿二年之后，拉瓦锡遭到牢狱之灾，并很快被处死在断头台上。后来，一位著名的数学家为此说道：“砍去他的脑袋只需要短短的一瞬，但造就另一位象他那样才华横溢的科学家至少需要一个世纪。”

1799年，另一位法国化学家普劳斯特发现，1克氢气和8克氧气化合形成9克的水，如果反应物不是按这种比例，反应后氢和氧将不能完全变成水，即有多余的反应物剩下来而不化合。其他的化学反应也有类似的情况。由此，普劳斯特提出了定比定律：“两种或多种元素按一定的质量比化合，构成化合物。”而且更为重要的是，这种质量比总是可化成整数比。



在此基础上，1804年，英国人约翰·道尔顿发现了倍比定律。这就是，两种元素如果有两种以上的化合物，那么在那些化合物中，如果一种元素的质量是一定的，和它化合的另一种元素在两种化合物中的质量必成简单的整数比。

更为可贵的是，道尔顿试图探寻定比定律和倍比定律的本质原因。为什么参加化合反应的元素总有固定的比例？而且大自然从不背离它的“配方”？他意识到，在化学反应中各元素的质量必成一定整数比的事实，分明是暗示了物质是由某种可数的最小单位构成的。这个最小单位是什么呢？道尔顿认为，它们就是原子！他指出，只要承认有原子存在，所有问题都能简单而彻底地得到解释。物质都是由具有一定质量的原子构成的，组成元素的原子不能创生也不能被分裂，组成化合物的原子是由形成该化合物成分的元素原子结合而成的。对于道尔顿所说的“化合物的原子”，我们现在已经知道，它是不正确的。但是，这也并不能贬低他的功绩。因为人们从事化学实验几百年，却还没有一个人能够在他之前自觉地把化学与原子论联系起来，而道尔顿这样做了，并由此把原子论学说从模糊不清的哲学思辨引导到精确的实验测量这一自然科学的正确轨道上来。

1809年，法国人盖·吕萨克发现，在同温等压下进行的化学气体反应中，参与反应的气体体积也成简单的整数比，特别是如果生成物也是气体的话，生成物的体积也和反应物的体积成简单的整数比。例如，两升的氢气和一升的氧气化合时，生成两升的水蒸气。这就是气体反应定律。

盖·吕萨克曾以为，只要假定任何气体在同温等压下，在同样体积内含有相等的原子数，气体反应定律就可以由道尔顿所发展的原子论予以解释。但是，盖·吕萨克的这一