

湖南教育出版社

ERSHISHIJI WULIXUE LISHIYUZHANWANG

20

二十世纪 物理学 历史与展望

V. L. Ginzburg 等著

廖建军 等译

二十世纪物理学 历史与展望

廖建军 周光辉 译
朱久运 王瑞旦

湖南教育出版社

二十世纪物理学历史与展望

V. L. Ginzburg 等著

廖建军 等译

责任编辑：常继大

湖南教育出版社出版发行(东风路附1号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

850×1168毫米 32开 印张：10.5 字数：260,000

1992年11月第1版

1992年11月第1次印刷

ISBN 7-5355-1516-9/G·1511

定 价：6.40元

前 言

以前所未有的动力向前发展是现代科学的特征，这种推动力源于迅速建立实验证据及各种各样的假设与理论。每个现代人在其一生中都会经历科学世界观的戏剧性的变化。因此，对当今基础学科必需的概念发展的阐述，势必具有历史研究的性质，尽管涉及的时间间隔仅只短短的数十年而已。这种研究是十分珍贵的，因为从事这种著述的作者必须是具有广博知识的专家。一个第一流的科学家愿意花时间去从事传统文献观点所指的范围之外的科学史研究，这是极为罕见的。

本书大多数撰稿人都是苏联著名的物理学家，他们在物理学各个分支，诸如波谱学、原子物理、化学物理、天体物理、无线电物理、等离子、低温、量子电子学及非线性现象物理学中，因作出了重要贡献而饮誉物理学界。本书的标题并不意味着，书中的文章将介绍作为一个整体的现代物理学发展的完整图像，我们强调的只是几个基本科学领域，然而它们反映了20世纪物理学的特征。虽然本论文集在格式与语言方面各不相同，但有一点是共同的：即都是对物理学各个分支的发展作历史的考察。

本书的第一篇文章对十九世纪原子物理到量子力学的发展作了广泛的历史性分析。量子力学与相对论一道，形成20世纪物理学的理论基础。该文集中讨论在1900~1925年的发展，按作者白俄罗斯科学院院士M. A. Elyashevich的意见，这种发展分为两条线索，其一是原子的量子理论相联系（玻尔—索末菲—海森伯），其二是辐射量子理论和波粒二像性（爱因斯坦—德布罗意—薛定

诤)相联系。对于在1925~1927年出现的量子理论及其以后的发展,文中则较少涉及。量子概念形成史话表现了那些伟大日子里科学探索的热烈气氛。与第一篇论文紧密相联系的有两篇论文,即由理学博士D. N Triforov 撰写的第二篇关于原子结构的历史与发展状况的论文,由科学院院士V. I Goldanski 和数学物理博士V. P shantarovich所撰写的关于类原子结构——正子素与介原子的发现和进一步研究的第三篇论文。第二篇论文谈及当代原子论出现情况,它是在发现X射线、放射性、电子、惰性气体的影响下形成的。这篇文章还进一步考虑了这些观点的发展如何导致对原子结构及其转化的现代理解,以及如何以此为基础对原子结构的周期性获得透彻的理解。

第三篇文章是第二篇文章的自然延续,它涉及奇异原子的发现与理论解释,集中注意力于类原子物质在物理与化学中的大量重要应用。

接下去的两篇文章,虽然致力于两个最重要、最有前途的研究领域(非线性现象与量子电子学),但本质上乃是这些领域在近25年的发展史的叙述。其中数学物理博士S. V. Letokhov 撰写的文章论及了量子电子学,文中突出了为什么首先是发明微波激射器而不是激光器这一历史问题。非线性现象物理学与量子电子学在物理学中起着重要的综合作用。量子电子学,主要是激光器,已经给研究人员提供了强大的高质量的能源——对现代物理实验整套工具的重要补充。非线性现象物理学的进展在理论物理学家面前展现出新的概念和数学方法,即一种非线性的思考问题的方法与技术,这是由苏联物理学家L. I. Mandelstam 和A.A. Andronov 所提出来的。

由A. V Gaponov-Grekhov 院士与数学物理博士M. I. Rabinovich 所撰写的关于非线性物理学的文章,首先研究了两个基本问题:在相对简单的决定论系统中随机性的出现以及在非线性媒质中有序的决定论结构的出现。有些问题则是与奇异引力子与

孤子有密切关系。它们所涉及的与直接关注的重大实际问题是，进化论、气象预报、等离子加热、紊流力学与基本粒子的现代规范理论等等。

本书以对现代物理和天体物理学的发展预测的评论文章作为结束。该文是由V. L. Ginzburg 院士撰写的，这篇基于物理学目前发展水平与历史分析预测未来物理发展的论文，是作者对物理学与天体物理学各领域中作出的重大贡献。在这篇文章中，作者试图在这些科学中挑选关键问题，并预测在进入下一个世纪时这些问题的发展水平。这些问题的数目与希尔伯特问题一样多。希尔伯特问题是在1900年提出来的，对本世纪的物理、数学思想发展有巨大影响。顺便指出，在Ginzburg所列出的第九个问题与第十个问题分别是新型激光器（包括X射线与 γ 射线激光器在内）与非线性物理学（包括孤子与奇异引力子理论在内）。科学史家们在书中将会找到专业理论物理学家关于在物理学与天体物理学中科学革命的一些有益的观点。这些观点与科学革命概念的创造者之一的美国科学史家库恩的观点存在着分歧。实际上，按照本文作者的意思，几乎所有的关键问题的理论都应以量子理论与相对论为基础，所以相对论与量子理论的出现，乃是第二次科学革命的结果。而第一次科学革命则是经典力学的产生。第二次科学革命的量子理论部分在本书第一篇文章中作了阐述。科学革命对20世纪原子物理的影响，则在Trifonor的文章，Goldanski与Shantarvich的文章中阐述。本书所有的文章都是密切联系的，把它们结合起来，就会使我们得到20世纪物理学迅猛发展的感性知识。本书的可读性强，激动人心，因此一定会引起物理学家、科学哲学家、哲学家以及对当代物理感兴趣的人们的注意。

本书编委会谨向为改进本书提出了建议与批评的读者致以深深的谢意。

编 委 会
(朱久运 译)

目 录

前言	(1)
量子理论: 起源和发展	M. A Elyshevich (1)
1. 引言	(1)
2. 19世纪的原子论	(3)
3. 原子的复杂结构——卢瑟福模型	(15)
4. 量子理论的起源及早期量子理论	(22)
5. 量子理论的进一步发展	(39)
6. 结语	(55)
参考文献	(61)
近代原子论的起源与发展	D. N Trifonov (80)
1. 19世纪末的原子概念	(81)
2. 物理学中的重大发现	(83)
3. 近代原子论的主线	(85)
3.1 原子模型结构	(85)
3.2 原子可变性的证据	(88)
3.3 原子类型存在的证据	(91)
4. 近代原子论的主要方面	(93)
4.1 原子结构及周期律的电子层次理解	(94)
4.2 原子类型及周期律的核层次理解	(99)
4.3 原子核的可变性	(104)
4.4 放射性: 过程及性质	(108)

4.5 物质原子结构存在的极限	(109)
5. 结语	(113)
参考文献	(114)

新原子研究发展状况

..... V. I Goldansiki V. P shantarich	(119)
1. 引言	(119)
2. 新原子的特性	(121)
3. 正电子和正电子素	(122)
3.1 正电子与物质的相互作用及其湮灭	(123)
3.2 正电子素的形成	(124)
3.3 正电子湮灭实验	(126)
3.4 正电子素猝熄	(131)
3.5 没有正电子素形成的湮灭	(147)
4. 介原子	(149)
4.1 μ (介)素化学	(150)
4.2 负介子化学	(154)
5. 结语	(160)
参考文献	(161)

量子电子学 V. S. letokhov (182)

1. 从量子物理到量子电子学	(182)
2. 为什么首先是发现脉泽 (受激辐射微波放大器) 而不 是莱泽(激光器)?	(184)
3. 激光器——量子电子学进步的支柱	(187)
4. 相干光光学和光谱学的进步	(191)
5. 微微秒量子电子学	(193)
6. 量子电子学与量子计量	(194)
7. 量子电子学若干进一步的问题	(197)

8. 进一步发展趋势	(202)
9. 结语	(204)
参考文献	(205)

非线性物理、随机性与结构

..... A. V Gaponov and M. I Rabinovich(211)

1. 引言	(211)
1.1 历史概况	(211)
1.2 问题的统一性	(215)
2. 随机性	(218)
2.1 总论	(218)
2.2 例子	(220)
2.3 哈密顿系统的随机性	(224)
2.4 奇异吸引子	(227)
2.5 湍流	(236)
3. 结构	(240)
3.1 出自无序的有序、自组织	(240)
3.2 易激发介质中的结构	(245)
3.3 有序级别	(248)
3.4 激波与孤子	(253)
4. 结语	(260)
参考文献	(262)

20世纪后期物理学和天体物理学发展与展望

..... V. L Ginzburg(277)

1. 引言	(277)
2. 物理学和天体物理学中的关键问题	(281)
3. 宏观物理学	(283)
4. 微观物理学	(291)

5.天体物理学.....	(296)
6.关于物理学和天文学中的科学革命.....	(315)
7.结语.....	(320)
参考文献.....	(322)
译后记.....	(325)

量子理论：起源与发展

M. A. Elyashevich

1. 引言

在物理学史上有一段引人注目的时期——20世纪20年代的中叶及末期。在这一时期，相继发现了量子力学、量子统计及量子场论的一些基本原理。量子理论很快地发展成为理论物理的一个独立分支，且羽毛丰满，它能满意地解释原子及分子层次上的微观现象。量子理论的产生，是物理学及相关科学在19世纪及20世纪前25年中错综复杂发展的结果。这一发展与物质结构的原子观点有关，它有二个显著的特征：第一，物理学家开始讨论微观尺度——原子（ 10^{-8}cm ）及亚原子（ 10^{-13}cm ）尺度，开始讨论电子伏特数量级的基本过程（典型的原子及分子过程，例如电离、离解及各种化学反应）及兆电子伏数量级的基本过程（典型的核过程，例如放射性衰变及核反应）；第二，人们发现支配微观世界行为的定律与宏观世界中的完全不同。正是由于对微观现象——“神秘现象”〔1〕——性质的研究，导致了坚实的量子理论的产生。这是整个自然科学中的一场革命，物理学在这场革命中起了决定作用〔2〕。

在19世纪，原子论沿着不同但又相互关联的路线发展：化学中的原子、分子学说（化学原子论）、物理学中的分子动力理论与统计方法（物理原子论）、晶体内部结构的对称性（结晶学中的原子论）。随着世纪的前进，研究者们遇到了一些经典物理学不能解释的事实。这些事实成为量子思想的源泉，使原子是一复杂系统的观点变得更为普及。在本世纪交替之时，人们大都认为原子是一实体，它由组成的粒子在电磁作用力的束缚下构成，这些力决定了原子的性质。根据建立在著名的 α 粒子散射实验之上的卢瑟福模型，这些粒子就是原子核及电子，它们之间存在库仑力作用。但从经典电磁学与力学来看，卢瑟福原子是不稳定的，这和观察到的原子的稳定性相矛盾。直到1913年，当玻尔将他的量子概念运用于原子时，这一矛盾才得到解决。这一概念奠定了原子和原子系统的量子理论的基础。

1913年前，量子思想的开始及发展主要是为了满足解释热平衡辐射及其结果。1900年，通过引入物质的能量是分立的基本假设（谐振子能量的量子化，谐振子是处于电磁辐射平衡的物质的模型），普朗克运用统计方法导出了一个辐射定律（以他的名字命名）。1905年，爱因斯坦将统计运用于辐射，提出了他的光量子假说，光子——电磁辐射能量的分立形式（辐射能量的量子化，它的另一形式，即电磁场在真空中的自由振荡，分别由厄任费斯脱在1906年及德拜在1910年得出）。爱因斯坦成功地给出了许多辐射与物质相互作用过程的量子解释。随后，通过利用普朗克关于物质能量的量子化思想，他提出了热容量的量子理论基础。量子理论后来主要因玻尔和爱因斯坦而变得完善。

应该强调的是，量子概念的发展是一诱人的过程，这一过程常常出现矛盾，所以有必要进行仔细的历史考察，直到近年来人们才对此过程做出正确解释。在20世纪的前25年，这一发展有两种方法上的特征。一种是玻尔发展的原子量子理论及玻尔的对原理的应用。运用这一原理，海森伯在1925年中期导出了他的量

量子力学的矩阵形式；另一种方法与爱因斯坦（1905年开始）发展的辐射的波粒二象性思想有关。1923年德布罗意将这一思想运用于微观粒子，1926年，薛定谔用这一方法得出了量子力学的波动形式——以他的名字命名的波动方程。两种方法得出了数学上等价的結果。量子力学的统一理论被建立，它的物理解释也已给出。在20世纪20年代中期，发现了玻色—爱因斯坦统计与费米—狄拉克统计，并给出了它们的量子力学解释。随后，从狄拉克1927年研究辐射理论开始，形成了量子电动力学的基础及广义量子场论。

有意思的是，量子理论的起源与19世纪原子观点的完善有关，反过来它又被用于从统一的物理基础来说明物理、化学、结晶原子论的特征，这是科学相互影响的一个很好的例子。

在本文的其余部分，我们将看看量子理论历史的各个主要阶段，从它的开始到它目前的形式^①。

2. 19世纪的原子论

19世纪的原子论的特点在于它是建立在大量实验根据基础之上。不像17、18世纪的原子论，那时的原子论主要是推测性的。日益精确的物理测量使得物理学和化学研究者能够运用微粒的方法建立起定量的关系，这些关系由微粒（由原子组成的原子和分子）的行为决定。微粒理论为各种聚集态物质的各种性质——热、电、磁、光等提供了线索。这些性质可通过不同物理方法进行研究。晶体的规则形状及其形成是由于它的内部原子结构的对称性所致。

追溯原子论在化学、物理、结晶学这三个领域中的发展及由

^① 下面将讨论的一些观点的更深入的思考载于作者的论文[9—12]中，注意关于量子理论历史的多卷本专题著作的第一卷最近已出版[13]。

特殊定律支配的复杂系统的原子结构的基本问题的出现是很重要的。

化学原子论^① 具体的原子思想在19世纪化学中的建立是基于这样一个基础：一是从化学变化中的重量比对物质成分的实验研究，另外就是对气体的物理行为及气体的化学反应的探究。化学原子论的创立者是道尔顿。他研究了气体的混合物大气的性质，进一步从原子的假设来解释气体的扩散。1801年，他建立了气体混合物的分压定律。道尔顿认为固体和液体是由无数的微小粒子或原子海构成的，是在引力作用下结合在一起的物质。在道尔顿看来，同种物质的所有原子是相同的，各种物质因它们的相对重量或原子量（这一术语最先由道尔顿在1803年引入）不同而不同。道尔顿进一步区分了由同一种化学元素构成的物质的简单原子及化合物的复杂原子。用现代术语说，他区分了原子和分子。他也考察了二种元素A和B的简单原子的各种结合($A+B=C$ ，二元的； $A+2B=D$ ，三元的； $2A+B=E$ ，三元的； $A+3B=F$ ，四元的，等等)，并在理论上建立了最重要的化学计算定律：倍比定律。后来他根据氮的各种氧化物(N_2O 、 NO 、 N_2O_3 等)的重量比的实验数据证明了该定律。道尔顿认为元素的“简单原子”在化学上是不分解的，物理上是不可分的。

值得注意的是，对道尔顿来说，原子的主要特性是它的原子量，所以原子的概念不仅在哲学上变成一整体，而且在自然科学中也是一个整体。然而，他认为分子（复杂原子）必然是由不同的“简单原子”组成的，而且，在奥康的剃刀原则（最简明原则）指引下，他认为不存在双原子分子及多原子分子的简单物体（由一种元素构成的物体）。

倍比定律与重量比有关，1808年，盖·吕萨克测量了化学反应中各种气体的体积，推断出他的合成体积定律。例如，1升的

^① 本文所应用的是广义的化学原子论，也即化学中的原子与分子理论。其进展在文献[14—17]中有讨论。

氧严格地要求2升的氢结合才能形成2升的水蒸汽。1811年,阿伏伽德罗在假设的基础上解释了这一定律,他假设一定体积的任何气体(在相同条件下)含有相同数量的分子^①。进一步假设(分配假设)简单气体的分子可分离产生两个或更多相同性质的粒子(“基本分子”)。根据原子和分子的概念(这在阿伏伽德罗的推理中还不很明确),后一假设意味着简单气体的分子可以由两个或更多的原子组成。在气态氢和气态氧这一特殊情形,它们的分子(正像后面将证明的)是双原子的。产生水蒸汽的反应可写成 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$, 这里的体积比2:1:2准确地由阿伏伽德罗假设解释。

但是,在当时,用原子和分子这两种性质不同的分离形式的物质的基本概念难以使道尔顿的倍比定律和盖·吕萨克的合成体积定律相互关联。在讨论重量比时,化学当量和原子量的概念互相混淆。道尔顿和阿伏伽德罗二人在处理气体粒子的体积时,仍是从后来遭到反对的热质说理论出发,对环绕原子的热质、壳的尺寸作了不同假设。道尔顿坚信简单气体是由单一原子分子组成,所以他认为盖·吕萨克的定律是错误的。阿伏伽德罗假设在很长一段时间内受到大多数化学家的抵制,他们中的一些将“物理”分子与“化学”分子区别开来,直到几十年后情况才得以澄清。到19世纪中叶,在化学中对原子和分子才形成了一致的概念。它们的明确定义是1860年卡尼扎罗在他的著作[16、18]^②及在卡尔斯鲁厄召开的第一次国际化学家会议上的报告中给出的。分子是复杂或简单的物质粒子。它是物质能够独立存在而又保持其物理和化学性质的最小单元。原子是化学元素的粒子,它是构成简单和复杂物体的最小单元。这些观点得到普遍承认。与相对重量一道(原子或分子的,也即相对质量),元素的原子及由它们构成的分子

① 此后不久,19世纪中叶,气体动力论证明阿伏伽德罗假设有效,被称为理想气体的阿伏伽德罗定律(见后文)。

② Berzelius, Dumas, Godin, Laurent, Gérard, Mendeleev (在他发现周期律之前的工作),及其他人对原子论的贡献以及二元论与一元论方法的斗争在参考文献[14.第6.7章]; [16.第3.4章]、[17.第2章]中有讨论。

的一系列化学和物理性质表示了它们的特性。有关的证据迅速积累起来。这时出现了关于原子的化合价及原子和分子的化学键的学说。化合价的理论由Kekule在19世纪50年代末60年代初首创。

Butlerov 在原子和分子概念的基础上提出了他的化学结构理论。

化学原子论历史上最重要的发展，是门捷列夫在1869年发现了化学元素周期律。这一发现是在对大量关于化学元素及化合物的各种性质的实验材料的系统化及对早期发现的各种特殊规律性的概括的基础上得到的。门捷列夫在1871年版的《化学基础》中系统地阐述了这一基本规律：在简单及复杂物质性质中显示出来的元素物理和化学性质周期性地依赖于……它们的原子量。当按原子量的增加次序排一个表格形式——周期表——每一元素将在其中占据某一位置。元素将出现一性质的周期性，相似的元素在一定的位位置重新出现，元素的性质沿水平周期及竖直线以有规律的方式变化。众所周知，这使得门捷列夫能够对尚未发现的元素的性质作出非凡的预测。这些元素在周期表上已留下了空位置，而且在后来都被发现。给定的元素的所有性质及这些性质的周期性被认为是与这类原子的潜在内部性质有关，以前被认为是不可分的原子，现在被认为是一复杂系统。

门捷列夫写道：“简单物质的原子是由一些更小的部分（终极）结合形成的复杂实体。我们所谓的不可分（原子）只是由通常的化学力不可分，正像微粒^①在通常条件下由物理力不可分一样。然而，尽管不可靠、或许武断，但这一推测必然吸引那些了解化学的人们的头脑”〔20〕。他还写道：“简单及复杂物体的周期变化遵守一些最高的定律，它的性质，尤其是原因，人们还没办法把握，它多半是存在于原子和微粒的内部力学的核心中”〔21〕。现在我们知道这一力学就是适用于由原子核和电子构成的原子及由原子组成的分子的量子力学。门捷列夫的预言在20世纪变成了现实。

① 门捷列夫称分子为粒子。

在各种原子呈现周期性的内在性质中,对原子的量子理论的诞生最有意义的性质要数光谱特性,每种元素的原子具有自己独特的光谱,从氢元素到碱金属到周期表上其它族的元素。原子光谱变得越来越复杂,过渡元素及地球上的稀有元素具有最复杂的光谱,正是原子光谱的专一性构成了基尔霍夫和本生发现的光谱分析的基础〔22〕。尤其是,它使得有可能从太阳及其它星星的光谱来测定这些天体的化学成分,而且表明,在宇宙的各处原子的性质是相同的。1860~1861年,利用光谱技术,基尔霍夫和本生发现了铯和铷〔23〕,1875年,Lecoq de Boisbaudran 发现了镓,这是门捷列夫预言的元素中的第一个准铝(ekaaluminium')。早在1871年门捷列夫就光谱研究的伟大价值写道:“光谱研究不仅为科学带来了洞察遥远天体的成分的能力,而且也提供了研究地球表面上任我们主宰的物体的新奇技术”〔20〕,他预言准铝(ekaaluminium)将由光谱技术精确地发现①。

原子光谱分析的最重要的结果是光谱中精确的模型的发现(开始于巴尔末在1885年为氢原子光谱线系引入一公式,现在以他的名字命名这一公式〔24〕);在里德伯〔25、26〕及其他一些科学家的工作结果基础上建立的组合原则(combination principle),及由Ritz〔27〕在1908年观察到的模型的普遍化。根据这一原则,观察到的光谱线的波数可极其精确地表示成为一个系列光谱项 $T_1, T_2, T_3, \dots$ 中二项之差。这些光谱项表示了原子的特征。但直到1913年,这一实验证据的普遍性仍未彻底弄清。当玻尔运用这一组合原则作为实验基础来建立他的原子的量子理论时,通过发现它的量子性质,才给出了它的物理解释。

周期律对化合价学说的产生起了重要作用。原子极其明显地通过它们的化合价表现出周期性。在当时,不可能给出化合价的权威解释,正像周期律本身的情形一样。只有从量子思想出发,

① 有关门捷列夫的预言及他对光谱研究的作用的肯定见参考文献〔19〕。