

中国大百科全书

物理学

I

中国大百科全书出版社

北京·上海

1987.7

中国大百科全书总编辑委员会

主 任 胡乔木

副主任 (按姓氏笔画顺序)

于光远	贝时璋	卢嘉锡	<u>华罗庚</u>	刘瑞龙	严济慈
吴阶平	沈 鸿	宋时轮	张友渔	陈翰伯	陈翰笙
武 衡	茅以升	周 扬	周培源	姜椿芳	夏征农
钱学森	梅 益	裴丽生			

委 员 (按姓氏笔画顺序)

丁光训	于光远	马大猷	<u>王 力</u>	<u>王竹溪</u>	王绶琯
王朝闻	牙含章	贝时璋	艾中信	叶笃正	卢嘉锡
包尔汉	冯 至	司徒慧敏	吕 骥	吕叔湘	朱洪元
朱德熙	任新民	<u>华罗庚</u>	刘开渠	<u>刘思慕</u>	刘瑞龙
许振英	许涤新	孙俊人	<u>孙毓棠</u>	<u>杨石先</u>	杨宪益
苏步青	李 珩	李国豪	李春芬	严济慈	肖 克
吴于廑	吴中伦	吴文俊	吴阶平	吴作人	<u>吴学周</u>
吴晓邦	邹家骅	沈 元	沈 鸿	宋 健	宋时轮
张 庚	张 震	张友渔	张含英	<u>张钰哲</u>	陆 达
陈世骧	陈永龄	<u>陈维稷</u>	陈虞孙	陈翰伯	陈翰笙
武 衡	林 超	茅以升	罗竹风	季 龙	季羨林
周 扬	周有光	周培源	孟昭英	柳大纲	胡 绳
胡乔木	<u>胡愈之</u>	荣高棠	赵朴初	侯外庐	侯祥麟
段学复	俞大绂	宦 乡	姜椿芳	费孝通	贺绿汀
夏 衍	<u>夏 鼐</u>	夏征农	钱令希	钱伟长	钱学森
钱临照	<u>钱俊瑞</u>	倪海曙	殷宏章	<u>翁独健</u>	唐长孺
唐振绪	陶 钝	梅 益	黄秉维	曹 禺	董纯才
程裕淇	傅承义	曾世英	曾呈奎	谢希德	裴丽生
潘 菽	潘念之				

物理学编辑委员会

主任 王竹溪 朱洪元

副主任 (按姓氏笔画顺序)

王大珩 王淦昌 何祚庥 汪德昭 张文裕 赵忠尧 施汝为
钱伟长 钱临照 彭桓武

委员 (按姓氏笔画顺序)

马大猷 王大珩 王天眷 王竹溪 王淦昌 王福山 甘子钊
卢鹤绂 冯端 曲钦岳 朱洪元 许良英 许国宝 孙煜
杨澄中 李整武 苟清泉 吴式枢 何成钧 何泽慧 何祚庥
汪容 汪德昭 张文裕 张志三 陆学善 范岱年 周光召
金建中 金星南 郑华炽 赵忠尧 赵凯华 胡宁 胡济民
施汝为 钱伟长 钱临照 徐叙瑗 徐躬耦 黄友谋 黄宏嘉
黄昆 彭桓武 褚圣麟 管惟炎 戴元本 魏荣爵

分支学科编写组

综 论

主 编 王竹溪 副主编 彭桓武 卢鹤绂
成 员 汪容

物 理 学 史

主 编 钱临照 副主编 许良英 何成钧
成 员 王锦光 戈革 李志超 汪容 邹延肃 金尚年
胡济民 洪震寰 解俊民 潘永祥 戴念祖

经 典 力 学

主 编 钱伟长 副主编 何成钧 汪家诤
成 员 叶开沅 罗远祥

波、振动、声学

主 编 汪德昭 副主编 马大猷 魏荣爵 应崇福
成 员 关定华 杜连耀 沙家正 陈通 魏墨鑫

热学、分子运动论、统计物理学

主 编 孙 煜 副主编 龚昌德 达道安
成 员 于善瑞 李申生 李诤谟 欧阳容百 徐龙道 高尚慧
熊吟涛

电磁学、经典电动力学

主 编 黄宏嘉 副主编 潘孝硕 鲍家善
成 员 李国栋 杨弃疾 余守宪 赵凯华 俞大光 贾起民
曹昌祺 蒋仁渊

光 学

主 编 王大珩 副主编 张志三 王之江 沈寿春
成 员 王之余 冯家璋 母国光 杨葭荪 战元龄 项明达
夏宇兴 徐亦庄 赫光生 缪家鼎

固 体 物 理 学

主 编 管惟炎 副主编 甘子钊 冯 端 徐叙瑗
成 员 王震西 杨应昌 李从周 李国栋 李景德 吴伯僖
何寿安 张其瑞 陆 栋 林彰达 经福谦 龚昌德
韩汝琦

原 子 物 理 学

主 编 褚圣麟 副主编 郑华炽 苟清泉
成 员 许祖华 李赞良 宋增福 张在宣 侯馥兴 聂玉昕
曹建庭

原子核物理学

主 编 王淦昌 副主编 胡济民 金星南 杨澄中 吴式枢
成 员 王世真 卢希庭 刘建业 杨泽森 陈丽姝 陈佳洱
张宗桦 周德邻 诸永泰 黄胜年 程晓伍 温琛林

粒 子 物 理 学

主 编 张文裕 副主编 朱洪元 胡 宁
成 员 冼鼎昌 高崇寿 谢家麟 霍安祥 戴元本

等离子体物理学

主 编 李整武 副主编 于 敏 陈春先
成 员 张承福 赵凯华 康寿万

前 言

《中国大百科全书》是我国第一部大型综合性百科全书。

中国自古以来就有编辑类书的传统。两千年来曾经出版过四百多种大小类书。这些类书是我国文化遗产的宝库，它们以分门别类的方式，收集、整理和保存了我国历代科学文化典籍中的重要资料。较早的类书有些已经散佚，但流传或部分流传至今的也为数不少，这些书受到中国和世界学者的珍视。各种类书体制不一，多少接近百科全书类型，但不是现代意义的百科全书。

十八世纪中叶，正当中国编修庞大的《四库全书》的时候，西欧法、德、英、意等国先后编辑出版了现代型的百科全书。以后美、俄、日等国也相继出版了这种书。现代型的百科全书扼要地概述人类过去的知识和历史，并且着重地反映当代科学文化的最新成就。二百多年来，各国编辑百科全书积累了丰富的经验，在知识分类、编辑方式、图片配备、检索系统等方面日益完备和科学化。今天，百科全书已经在人类文化活动中起着十分重要的作用，各种类型的和专科的百科全书几乎象辞典那样，成为人们日常生活的必需品。

一向有编辑类书传统的中国知识界，也早已把编辑现代型的百科全书作为自己努力的目标。本世纪初叶就曾有人试出过几种小型的实用百科全书，包括近似百科型的辞书《辞海》。但是，这些书都没有达到现代百科全书的要求。

中华人民共和国成立之初，当时的出版总署曾考虑出版中国百科全书，稍后拟定的科学文化发展十二年规划也曾把编辑出版百科全书列入规划，1958年又提出开展这项工作的计划，但都未能实现。

直到1978年，国务院才决定编辑出版《中国大百科全书》，并成立中国大百科全书出版社，负责此项工作。

因为这是中国第一部百科全书，编辑工作的困难是可想而知的。但是，由于读书界的迫切要求，不能等待各门学科的资料搜集得比较齐全之后再行编辑出版；也不能等待各学科的全部条目编写完成之后，按照条目的汉语拼音字母顺序，混合编成全书，只能按门类分别邀请全国专家、学者分头编写，按学科分类分卷出版，即编成一个学科（一卷或数卷）就出版一个学科的分卷，使全书陆续问世。这不可避免地要带来许多缺点，但是在目前情况下不得不采取这种做法。我们准备在出第二版时，再按现在各国编辑百科全书一般通行的做法，全书的条目不按学科分类，

而按字母顺序排列，使读者更加便于寻检查阅。《中国大百科全书》第一版按学科分类分卷，每一学科的条目还是按字母顺序排列，同时附加汉字笔画索引和其他几种索引，以便查阅。

《中国大百科全书》的内容包括哲学、社会科学、文学艺术、文化教育、自然科学、工程技术等各个学科和领域。初步拟定，全书总卷数为80卷，每卷约120~150万字(包括插图、索引)。计划用十年左右时间出齐。全书第一版的卷数和字数都将超过现在外国一般综合性百科全书，但与一些外国百科全书最初版本的篇幅不相上下。我们准备在第二版加以调整和压缩。

《中国大百科全书》按学科分卷出版，不列卷次，每卷只标出学科名称，如《哲学》、《法学》、《力学》、《数学》、《物理学》、《化学》、《天文学》等等。

全书各学科的内容按各该学科的体系、层次，以条目的形式编写，计划收条目10万个左右。各学科所收条目比较详尽地叙述和介绍各该学科的基本知识，适于高中以上、相当于大学文化程度的广大读者使用。这种百科性的参考工具书，可供读者作为进入各学科并向其深度和广度前进的桥梁和阶梯。

中国大百科全书出版社，除编辑出版《中国大百科全书》之外，还准备编辑出版综合性的中、小型百科全书和百科辞典，与专业单位共同编辑出版各种专业性的百科全书，以适应不同读者的需要。

《中国大百科全书》的编辑工作是在全国各学科、各领域、各部门的专家、学者、教授和研究人员的积极参加下进行的，并得到国家各有关部门、全国科学文化研究机关、学术团体、大专院校，以及出版单位的大力支持。这是全书编辑工作能够在困难条件下进行的有力保证。在此谨向大家表示诚挚的感谢，并衷心希望广大读者提出批评意见，使本书在出第二版的时候能有所改进。

《中国大百科全书》编辑部

1980年9月6日

凡 例

一、编 排

1. 本书按学科分类,在一定字数范围内分卷出版。一学科辑成一卷或数卷,字数不足一卷的学科,同其他学科合为一卷。

2. 本书条目按条目标题的汉语拼音字母顺序排列。第一字同音时,按阴平、阳平、上声、去声的声调顺序排列;同音同调时,按笔画的多少和笔顺排列。第一字的上述顺序完全相同时,依次按后面汉字的上述顺序排列。条目标题以拉丁字母开头的,例如“X射线”,排在X部的开头部分;条目标题以希腊字母开头的,例如“ β 衰变”,按希腊字母的习惯发音,排在汉语拼音字母B部的相应位置。

3. 各学科卷在条目分类目录以前一般都有一篇介绍本学科内容的概观性文章。

4. 各学科卷均列有本卷全部条目的分类目录,以便读者了解本卷的全貌。分类目录还适当考虑了条目间的层次关系,例如

原子核物理学.....1182

原子核.....1178

核子.....556

5. 学科与学科之间相互交叉的条目,例如“质量”,在物理学、力学两卷中均有条目,其释文内容分别按该学科的要求有所侧重。

二、条目标题

6. 条目标题多数是一个词,例如“态函数”;一部分是词组,例如“物理学中的因果关系”。

7. 条目标题上方加注汉语拼音,多数的条目标题附有外文名,例如 ^{zhenkong}
真空 (vacuum)。
纯属中国内容的条目标题,例如“中国古代律学”,一般不附外文名。

三、释 文

8. 本书条目的释文力求使用规范化的现代汉语。条目释文开始一般不重述条目标题。

9. 较长条目的释文,设置层次标题。层次标题较多的条目,在释文前列有本条层次标题的目录。

10. 一个条目的内容涉及其他条目并需由其他条目的释文补充的,采用“参见”的方式。所参见的条目标题在本条释文中出现的,用楷体字排印,例如“菲涅耳用波动说成功地解释了光的衍射现象”。所参见的条目标题未在本条释文中出现的,另用括号加“见”字标出,例如“电子的自场就给它带来了附加的电磁质量(见电磁质量和辐射阻尼)”。

11. 条目释文中出现的外国人名、地名、书名和组织机构名称一般不附原文。外国人物条目条头一般由外语姓的汉译形式构成,例如牛顿,I。

四、插 图

12. 本书在条目释文中配有必要的插图。
13. 彩色图汇编成插页,并在有关条目释文中注明“参见彩图插页第××页”。

五、参考书目

14. 在重要的条目释文后一般附有参考书目,供读者选读。

六、索 引

15. 本书各学科卷均附有本卷全部条目的汉字笔画索引、外文索引和内容索引。各种索引前有简要说明。

七、其 他

16. 本书所用科学技术名词以各学科有关部门审定的为准,未经审定和尚未统一的名词以及简称,从各行业习惯。中国现代地名以中国地名委员会审定的为准,常见的别译名必要时加括号注出。
17. 本书字体除必须用繁体字外,一律用 1986 年公布的《简化字总表》中的简化字。
18. 本书所用数字,除习惯用汉字表示的以外,一般用阿拉伯数字。

物 理 学

朱 洪 元

物理学研究宇宙间物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。地学和生命科学都是自然科学的重要方面,有重要的社会作用,但是像地球这样有生物的行星在宇宙中却是少见的,所以地学和生命科学不属于物理学范围。当然,物理学所发现的基本规律,即使在地球现象和生命现象中,也起着重要作用。

物理学的各分支学科是按物质的不同存在形式和不同运动形式划分的。人对自然界的认识来源于实践,而实践的广度和深度有着历史的局限性。随着实践的扩展和深入,物理学的内容也不断扩展和深入。新的分支学科陆续形成;已有的分支学科日趋成熟,应用也日益广泛。早在古代就形成的天文学和起源于古代炼金术的化学,始终保持着独立的地位,没有被纳入物理学的范围。在天文学和物理学之间、化学和物理学之间存在着密切的联系,物理学所发现的基本规律在天文现象和化学现象中也起着日益深刻的作用。

客观世界是一个内部存在着普遍联系的统一体。随着物理学各分支科学的发展,人们发现物质的不同存在形式和不同运动形式之间存在着联系,于是各分支学科之间开始互相渗透。物理学逐步发展成为各分支学科彼此密切联系的统一整体。物理学家力图寻找一切物理现象的基本规律,从而去统一地理解一切物理现象。这种努力虽然逐步有所进展,使得这一目标有时显得很接近;但与此同时,新的物理现象又不断出现,使这一目标又变得更遥远。看来人们对客观世界的探索、研究是无穷无尽的。以下大体按照物理学的历史发展过程来叙述物理学的发展及其内容。

经 典 力 学

经典力学研究宏观物体低速机械运动的现象和规律,宏观是相对于原子等微观粒子而言的。人们在日常生活中直接接触到的物体常常包含巨量的原子,因此是宏观物体。低速是相对于光速而言的。最快的喷气客机的速度一般也不到光速的一百万分之一,在物理学中仍算是低速。物体的空间位置随时间变化称为机械运动。人们日常生活直接接触到的并首先加以研究的都是宏观低速的机械运动。

自远古以来,由于农业生产需要确定季节,人们就进行天文观察。16世纪后期,人们对行星绕太阳的运动进行了详细、精密的观察。17世纪J.开普勒从这些观察结果中总结出了行星绕日运动的三条经验规律。差不多在同一时期,伽利略进行了落体和抛物体的实验研究,从而提出关于机械运动的初步的现象性理论,并把用实验验证理论结果的方法引入了物理学。I.牛顿深入研究了这些经验规律和初步的现象性理论,发现了宏观低速机械运动的基本规律:包括三条牛顿运动定律和万有引力定律,为经典力学奠定了基础。根据对天王星运行轨道的详细天文观察,并根据牛顿的理论,预言了海王星的存在;以后果然在天文观察中发现了海王星。于是牛顿所提出的力学定律和万有引力定律被普遍接受了。

经典力学中的基本物理量是质点的空间坐标和动量。一个力学系统在某一时刻的状态由它的每一个质点在这一时刻的空间坐标和动量表示。对于一个不受外界影响,也不影响外界,不包含其他运动形式(如热运动、电磁运动等)的力学系统来说,它的总机械能就是每一个质点的空间坐标和动量的函数,其状态随时间的变化由总能量决定。在经典力学中,力学系统的总能量和总动量有特别重要的意义。物理学的发展表明,任何一个孤立的物理系统,无论怎样变化,其总能量和总动量数值是不变的,它们是守恒量。这种守恒性质的适用范围已经远远超出了经典力学的范围,还没有发现它们的局限性。

在经典力学中出现了三个最普遍的基本物理概念:质量、空间和时间。质量可以作为物质的量的一种度量,空间和时间是物质存在的普遍形式。现有一切物理量的量纲原则上都可以由质量、空间、时间的量纲结合起来表达。具有不同量纲的物理量之间存在着质的差异。量纲在一定程度上反映物理量的质。量纲相同的物理量的质可以相同,但未必一定相同。

在经典力学中,时间和空间之间没有联系。空间向上下四方延伸,同时间无关;时间从过去流向未来,同空间无关。因此,就存在绝对静止的参照系,牛顿运动定律和万有引力定律原来是在这种参照系中表述的。相对于绝对静止的参照系作匀速运动的参照系称为惯性参照系。任何一个质点的坐标,在不同的惯性参照系中取不同的数值,这种不同数值之间的变换关系称为伽利略变换。在这种变换中,尺的长度不变,时钟运行的速度不变,经典力学基本规律的数学形式也不变。利用力学实验方法,无法确定哪些惯性参照系是绝对静止的参照系,因而绝对静止的参照系就成了一个假设。

早在19世纪,经典力学就已经成为物理学中一个成熟的分支学科,它包含了丰富的内容。例如:质点力学、刚体力学、分析力学、弹性力学、塑性力学、流体力学等。经典力学的哈密顿正则方程已成为物理学中的重要方程,并应用到统计物理学、量子力学等近代物理学的理论中。经典力学的应用范围,涉及到能源、航空、航天、机械、建筑、水利、矿山建设直到安全防护等各个领域。当然,工程技术问题常常是综合性的问题,还需要许多学科进行综合研究,才能完全解决。

机械运动中,很普遍的一种运动形式是振动和波动。声学就是系统研究这种运动的产生、传播、转化和吸收的分支学科。声波是传递信息的重要媒介,而且常常是其中不可缺少的环节。人的声带、口腔和耳就是声波的产生器和接收器。人们通过声波传递信息。有许多物体,不易为光波和电磁波透过,却能为声波透过。利用声波研究这种物体的内部性质,例如利用声波在媒质中的传播特性研究地层结构和海洋深处及海底的现象和性质,就有优越性。频率非常低的声波能在大气和海洋中传播到遥远的地方,因此能迅速传递地球上任何地方发生的地震、火山爆发或核爆炸的信息;频率很高的声波和声表面波已经用于固体的研究、微波技术、医疗诊断等领域;非常强的声波已经用于工业加工。

热学、热力学和经典统计力学

热学研究热的产生和传导,研究物质处于热状态下的性质和这些性质如何随着热状态的变化而变化。人们很早就有冷热的概念。利用火是人类文明发展史中的一个重要的里程碑。对于热现象的研究逐步澄清了关于热的模糊概念(例如:区分了温度和热量,发现它们是密切联系而又有区别的两个概念)。在此基础上开始探索热现象的本质和普遍规律。关于热现象的普遍规律的研究称为热力学。到19世纪,热力学已趋于成熟。

能量可以有多种存在形式,力学现象中物体有动能和位能。物体有内部运动,因此有内部能量。19世纪的系统实验研究证明:热是物体内部无序运动的能量的表现,因此称这种能量为内能,以前称作热能。19世纪中期,J. P. 焦耳等用实验确定了热量和功之间的定量关系,从而建立了热力学第一定律:宏观机械运动的能量与内能可以互相转化。就一个孤立的物理系统来说,不论能量形式怎样相互转化,总的能量的数值是不变的,热力学第一定律就是能量守恒与转换定律的一种表现。

在 S. 卡诺研究结果的基础上, R. 克劳修斯等提出了热力学第二定律。它指出了一切涉及热现象的客观过程的发展方向,表达了宏观非平衡过程的不可逆性。例如:一个孤立的物体,其内部各处的温度不尽相同,那么热就从温度较高的地方流向温度较低的地方,最后达到各处温度都相同的状态,也就是热平衡的状态。相反的过程是不可能的,即这个孤立的、内部各处温度都相等的物体不可能自动回到各处温度不尽相同的状态。应用熵的概念,还可以把热力学第二定律表达为:一个孤立的物理系统的熵不能随着时间的流逝而减少,只能增加或保持不变。当熵达到最大值时,物理系统就处于热平衡状态。

热力学是一种唯象的理论。深入研究热现象的本质,就产生了统计力学。统计力学根据物质的微观组成和相互作用,研究由大量粒子组成的宏观物体的性质和行为的统计规律,是理论物理的一个重要分支。

宏观物体内部包含着大量的粒子。要研究其中每一个分子在每一时刻的状态实际上办不到。为了认识热现象的规律,也无需那么详细的知识。统计力学应用统计系综的方法,研究大量粒子的平均行为。20世纪初,J. W. 吉布斯奠定了平衡态的统计力学的基础。它的关于统计分布的基本假设是:对于一个具有给定能量的给定物理系统,各种可能的状态出现的几率是等同的。热力学中的各种物理量以及它们之间的关系都可以用这种统计分布的平均值表达。温度一方面同物体内部各分子无序运动的那部分能量有关,另一方面也决定了这种内部能量在物体内部运动状态之间的分布。

非平衡统计力学所研究的问题复杂,直到 20 世纪中期以后才取得了比较大的进展。对于一个包含有大量粒子的宏观物理系统来说,无序状态的数目比有序状态的数目大得多,实际上多得无法比拟。系统处于无序状态的几率超过了处于有序状态的几率。孤立物理系统总是从比较有序的状态趋向比较无序的状态。在热力学中,这就相应于熵的增加。

处于平衡状态附近的非平衡系统的主要趋向是向平衡状态过渡。平衡态附近的主要非平衡过程是弛豫、输运和涨落。这方面的理论逐步发展,已趋于成熟。近 20~30 年来人们对于远离平衡态的物理系统如耗散结构等进行了广泛的研究,取得了很大的进展,但还有很多问题有待解决。

在一定时期内,人们对客观世界的认识总是有局限性的,认识到的只是相对的真理,经典力学和以经典力学为基础的经典统计力学也是这样。经典力学应用于原子、分子以及宏观物体的微观结构时,其局限性就显示出来,因而发展了量子力学。与之相应,经典统计力学也发展成为以量子力学为基础的量子统计力学。

经典电磁学、经典电动力学

经典电磁学研究宏观电磁现象和客观物体的电磁性质。人们很早就接触到电的现象和磁的现象,并知道磁棒有南北两极。在 18 世纪,发现电荷有两种:正电荷和负电荷。不论是电荷

还是磁极都是同性相斥,异性相吸,作用力的方向在电荷之间或磁极之间的连接线上,力的大小和它们之间的距离的平方成反比。在这两点上和万有引力很相似。18世纪末发现电荷能够流动,这就是电流。但长期没有发现电和磁之间的联系。

19世纪前期,H. C. 奥斯特发现电流以力作用于磁针。而后 A.-M. 安培发现作用力的方向和电流的方向以及磁针到通过电流的导线的垂直线方向相互垂直。不久之后,M. 法拉第又发现,当磁棒插入导线圈时,导线圈中就产生电流。这些实验表明,在电和磁之间存在着密切的联系。

两个质点之间的万有引力沿着它们之间的连接线起作用。两个电荷之间的作用力也是这样。这些力曾经被认为是超距作用。也就是说:这种力的传递既不需要时间,也不需要媒介。但是在电和磁之间的联系被发现以后,就认识到电磁力的性质在一些方面同万有引力相似,另一些方面却又有差别。为此法拉第引进了力线的概念,认为电流产生围绕着导线的磁力线,电荷向各个方向产生电力线,并在此基础上产生了电磁场的概念。现在人们认识到,电磁场是物质存在的一种特殊形式。电荷在其周围产生电场,这个电场又以力作用于其他电荷。磁体和电流在其周围产生磁场,而这个磁场又以力作用于其他磁体和内部有电流的物体。电磁场也具有能量和动量,是传递电磁力的媒介。它弥漫于整个空间。

19世纪下半叶,J. C. 麦克斯韦总结了宏观电磁现象的规律,并引进位移电流的概念。这个概念的核心思想是:变化着的电场能产生磁场;变化着的磁场也能产生电场。在此基础上他提出了一套偏微分方程来表达电磁现象的基本规律。这套方程称为麦克斯韦方程组,是经典电磁学的基本方程,其中包含着电荷、电流如何产生电磁场的规律;也包含着电场和磁场相互影响,导致它们在时间和空间中如何变化的规律。麦克斯韦的电磁理论预言了电磁波的存在,其传播速度等于光速。这一预言后来为 H. R. 赫兹的实验所证实。遂使人们认识到麦克斯韦的电磁理论正确地反映了宏观电磁现象的规律,肯定了光也是一种电磁波。

由于电磁场能够以力作用于带电粒子,一个运动中的带电粒子既受到电场的力,也受到磁场的力,H. A. 洛伦兹把运动电荷所受到的电磁场的作用力归结为一个公式,人们就称这个力为洛伦兹力。描述电磁场基本规律的麦克斯韦方程组和洛伦兹力就构成了经典电动力学的基础。

事实上发电机无非是利用电动力学的规律,将机械能转化为电磁能;电动机无非是利用电动力学的规律将电磁能转化为机械能。电报、电话、无线电、电灯也无一不是经典电磁学和经典电动力学发展的产物。经典电动力学对生产力的发展起着重要的推动作用,从而对社会产生普遍而重要的影响。

光 学 和 电 磁 波

光学研究光的性质及其和物质的各种相互作用,光是电磁波。虽然可见光的波长范围在 $4 \times 10^{-5} \sim 7.6 \times 10^{-5} \text{cm}$ 之间,只占电磁波中很窄的一个波段,但早在认识到光是电磁波以前,人们就对光进行了研究。17世纪对光的本质提出了两种假说:一种假说认为光是由许多微粒组成的;另一种假说认为光是一种波动。19世纪在实验上确定了光有波的独具的干涉现象,以后的实验证明光是电磁波。20世纪初又发现光具有粒子性,人们在深入研究微观世界后,才认识到,光具有波粒二象性。

光可以为物质所发射、吸收、反射、折射和衍射。当所研究的物体或空间的大小远大于光

波的波长时,光可以当作沿直线进行的光线来处理;但当研究深入到现象细节,其空间范围和光波波长差不多大小的时候,就必须着重考虑光的波动性。而研究光和微观粒子的相互作用时,还要考虑光的粒子性。

光学方法是研究大至天体、小至微生物以至分子、原子结构的非常有效的方法。利用光的干涉效应可以进行非常精密的测量。物质所放出来的光携带着关于物质内部结构的重要信息,例如:原子所放出来的原子光谱就和原子结构密切相关。近年来利用受激光辐射机制所产生的激光能够达到非常大的功率,且光束的张角非常小,其电场强度甚至可以超过原子内部的电场强度。利用激光已经开辟了非线性光学等重要研究方向;激光在工业技术和医学中已经有重要的应用。

现在用人工方法产生的电磁波的波长,长的已经达几千米,短的不到一百万亿分之一厘米,覆盖了近 20 个数量级的波段。电磁波传播的速度大,波段又如此宽广,已成为传递信息的非常有力的工具。

在经典电磁学的建立与发展过程中,形成了电磁场的概念。在物理学尔后的发展中,场成了非常基本、非常普遍的概念,变得十分重要。在现代物理学中,场的概念已经远远超出了电磁学的范围,成为物质的一种基本的、普遍的存在形式。

狭义相对论和相对论力学

在经典力学取得很大成功以后,人们习惯于将一切现象归结为由机械运动所引起的。在电磁场概念提出以后,人们假设存在一种名叫“以太”的媒质,它弥漫于整个宇宙,渗透到所有的物体中,绝对静止不动,没有质量,对物体的运动不产生任何阻力,也不受万有引力的影响。电磁场被认为是以太中的应力,电磁波是以太中的弹性波,它在以太中向各方向的传播速度都一样大(见以太论)。

可以将以太作为一个绝对静止的参照系,因此相对于以太作匀速运动的参照系都是惯性参照系。在相对于以太作匀速运动的惯性参照系中观察,电磁波的传播速度应该随着波的传播方向而改变。例如:在一个运动的惯性参照系中观察,沿着参照系运动方向传播的光的速率看起来应该慢一些;逆着参照系运动方向传播的光的速率看起来应该快一些。这就给利用测量不同方向光速的方法,在所有的惯性参照系中确定那些是绝对静止的参照系提供了可能性。但实测的结果却出乎意料之外,在不同的、相对作匀速运动的惯性参照系中,测得的光速同传播方向无关,都完全相等。特别是 A. A. 迈克耳孙和 E. W. 莫雷进行的非常精确的实验,可靠地证明了这一点。这一实验事实显然同经典物理学中关于时间、空间和以太的概念相矛盾。A. 爱因斯坦从这些实验事实出发,对空间、时间的概念进行了深刻的分析,从而建立了新的时空观念,在此基础上他提出了狭义相对论。狭义相对论的基本假设是:

- ① 在一切惯性参照系中,基本物理规律都一样,都可用同一组数学方程来表达;
- ② 对于任何一个光源发出来的光,在一切惯性参照系中测量其传播速率,结果都相等。

在狭义相对论中,空间和时间是彼此密切联系的统一体,空间距离是相对的,时间也是相对的。在相对于尺和钟作匀速运动的惯性参照系中的观察者看来,尺变短了,钟变慢了。因此尺的长短,时间的长短都是相对的。但在狭义相对论中,并不是一切都是相对的。例如:设在空间、时间中有两点,它们的坐标分别为 (x_1, t_1) 和 (x_2, t_2) ,那末在任何惯性参照系中,量

$$(x_1 - x_2)^2 - c^2(t_1 - t_2)^2$$

的数值是不变的,因此是绝对的,其中 c 代表光速。空间坐标、时间坐标和一系列物理量,如:动量和能量、电场强度和磁场强度等等,在不同惯性参照系之间的变换关系称为洛伦兹变换。基本物理规律必须对于洛伦兹变换具有不变性。

麦克斯韦方程组对于洛伦兹变换具有不变性。经典力学规律对于伽利略变换具有不变性;但对于洛伦兹变换却不具有不变性,因此必须加以修改。修改后的力学称为相对论力学,它对于洛伦兹变换具有不变性。在相对论力学中,光速是机械运动速度的极限,不可逾越。当物体速度无限地趋近光速时,它的动量、能量、惯性质量均将趋于无穷大。这些结论在实验中都得到了证实。

相对论力学的另一个重要结论是:一个具有质量 m 的物体一定具有能量 E ,并有

$$E = mc^2,$$

即使物体静止时也是如此。假使质量是物质的量的一种度量,能量是运动的量的一种度量,则上式表明:物质和运动之间存在着不可分割的联系。不存在没有运动的物质,也不存在没有物质的运动。对于静止物体来说, E 代表它的内部运动的量。1克物质内部所蕴藏的能量相当于2万多吨 TNT 炸药爆炸时所释放的能量。这一规律已在核能的研究和实践中得到了证实。

当物体的速度远小于光速时,相对论力学定律就趋近于经典力学定律。因此在低速运动时,经典力学定律仍然是很好的相对真理。例如:地球绕太阳运行的速率约为 30km/s 。这同日常生活中遇到的机械运动的速度相比是很大的速度;但同光速相比,却是很小的速度,仅为光速的万分之一。因此处理这类问题,经典力学定律仍然是很好的相对真理,仍然能用来解决工程技术中的力学问题。

狭义相对论对空间和时间的概念进行了革命性的变革,并且否定了以太的概念,肯定了电磁场是一种独立的、物质存在的特殊形式。由于空间和时间是物质存在的普遍形式,因此狭义相对论对于物理学产生了广泛而又深远的影响。

广义相对论和万有引力的基本理论

狭义相对论给牛顿万有引力定律也带来了新问题。牛顿提出的万有引力被认为是一种超距作用,它的传递不需要时间,产生和到达是同时的。这同狭义相对论提出的光速是传播速度的极限相矛盾。而且在狭义相对论中,“同时”是一种相对的概念。因此,必须对牛顿的万有引力定律也加以改造。改造的关键来自 R. V. 厄缶的实验,它以很高的精确度证明:惯性质量和引力质量相等,因此不论行星的质量多大多小,只要在某一时刻它们的空间坐标和速度都相同,那末它们的运行轨道都将永远相同。引力所决定的运行轨道和运行物体的质量无关,对于所有物体都一样。这个结论提供了一个线索,启发爱因斯坦设想:万有引力效应是空间、时间弯曲的一种表现,从而提出了广义相对论。根据广义相对论,空间、时间的弯曲结构决定于物质的能量密度、动量密度在空间、时间中的分布;而空间、时间的弯曲结构又反过来决定物体的运行轨道。在引力不强,空间、时间弯曲很小的情况下,广义相对论的预言就同牛顿万有引力定律和牛顿运动定律的预言趋于一致;引力较强,空间、时间弯曲较大的情况下,就有区别。但这种区别常常很小,很难在实验中观察到。从广义相对论提出到现在已经过去了70年,至今还只有四种实验能检验出这种区别。所有这四种实验观察结果都支持广义相对论而不支持牛顿万有引力定律的结论。

广义相对论不仅对于天体的结构和演化的研究有重要意义,对于研究宇宙的结构和演化

也有重要意义。

原子物理学、量子力学、量子电动力学

原子物理学研究原子的性质、内部结构、内部受激状态,以及原子和电磁场、电磁波的相互作用以及原子之间的相互作用。原子是一个很古老的概念。古代就有人认为:宇宙间万物都是由原子组成的。原子是不可分割的、永恒不变的物质最终单元。1897年J. J. 汤姆孙发现了电子。这才使人们认识到原子不是不可分割的、永恒不变的,而是具有内部结构的粒子。于是在19世纪末,经典物理学的局限性进一步暴露出来。根据经典物理学和原子中存在着电子的实验事实可以推导出:假使空腔壁的温度不为零,一个具有有限体积的空腔内的电磁辐射的能量是无穷大的。这显然不符合客观事实(见黑体辐射)。经典物理学也无法解释光电效应。为此,M. 普朗克和爱因斯坦提出了同经典物理学相矛盾的假设:光是由一粒一粒光子组成的,每一粒光子的能量 E 为

$$E = h\nu,$$

式中 ν 为光的频率, h 是一个常数,称为普朗克常数。这一假设导出的结论和黑体辐射及光电效应的实验结果符合。于是,19世纪初被否定了的光的微粒说又以新的形式出现。

1911年,E. 卢瑟福用 α 粒子散射实验(见原子结构)发现原子的质量绝大部分以及内部的正电荷集中在原子中心一个很小的区域内,这个区域的半径只有原子半径的万分之一左右,因此称为原子核。这才使人们对原子的内部结构得到了一个定性的、符合实际的概念。在某些方面,原子类似一个极小的太阳系,只是太阳和行星之间的作用力是万有引力,而原子核和电子间的作用力是电磁力。

用经典物理学来解释原子的内部结构和原子发射出来的光的频谱遇到了不可克服的困难。按照经典电动力学理论,围绕原子核运行的电子因加速运动会辐射电磁波,从而损失能量,电子轨道的半径将逐渐缩小,放出的电磁波的频率会愈来愈高,并连续改变;最后,电子因损失能量而落入原子核中。因此,原子不可能有稳定的结构。但实验表明:原子有很稳定的结构,放出来的电磁波的频谱并不连续,而是分立的,而且这种分立的频谱具有明显的规律性。

为了解释原子的结构和原子光谱的规律,N. 玻尔提出了他的氢原子理论,在经典力学所容许的所有运动状态中,只有那些电子的轨道角动量为

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

的整数倍的状态才是客观规律所允许的状态(见玻尔氢原子理论)。因此原子内部电子围绕原子核运动的能量只能取一系列分立的数值,称为能级。原子吸收或放出光子时,就从一个能级跃迁到另一个能级,光的频率 ν 和光子的能量 E 之间有如上述爱因斯坦光子假说的公式所表达的关系。光子的能量 E 为这两个能级的能量差。玻尔的氢原子理论在解释氢原子的结构和光谱时取得了很大的成功;但是用来研究氢原子结构时就遇到了困难。显然,经典物理学的可用范围不包括微观世界;而上述普朗克、爱因斯坦、玻尔的学说虽包含了微观世界的部分真理,但都不是微观世界物理现象的完整的基本理论。

原子物理学的基本理论是在20世纪20年代中期和后期由L.V. 德布罗意、W.K. 海森伯、E. 薛定谔、P. A. M. 狄喇克、W. 泡利等所创建的量子力学和量子电动力学。它们区别于经典力学和经典电动力学的主要特点是:

- ① 物理量所能取的数值常常是不连续的,当然,某些物理量在一定范围内也可以取连续

的数值；

② 它们所反映的规律不是确定性的规律，而是统计规律。

这两个特点之间又存在着密切的联系。量子力学和量子电动力学应用于研究原子结构、原子光谱、原子发射、吸收、散射光的过程以及电子、光子和电磁场的相互作用和相互转化过程非常成功。理论结果同最精密的实验结果相符合。

微观客体的一个基本性质是波粒二象性。所有一切微观粒子如：光子、电子、原子等都具有波粒二象性。对于所有微观粒子，能量 E 和频率 ν 之间、动量 p 和波长 λ 之间都有如下的关系：

$$E = h\nu, \quad p = \frac{h}{\lambda}.$$

这两个关系式表达了微观客体的粒子性和波动性之间的深刻联系。粒子和波是人在宏观世界的实践中形成的概念，它们各自描述了迥然不同的客体。但从宏观世界实践中形成的概念未必恰巧适合于描述微观世界的现象。现在看来，需要粒子和波动两种概念互相补充，才能全面地反映微观客体在各种不同的条件下所表现的性质。

这一基本特点的另一种表现方式是海森伯的测不准关系。这一关系说明：不可能同时测准一个粒子的位置和动量，位置测得愈准，动量必然测得愈不准；动量测得愈准，位置必然测得愈不准。测不准关系的表达式是：

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h,$$

式中 Δx 是位置测量的误差， Δp 是动量测量的误差。

波粒二象性已经包含在量子力学的数学形式中：在量子力学中物理量由算符表示，物理量所能取的数值就是算符的本征值，本征值常常是不连续的，粒子性就是这种不连续性的一种表现；物理状态由波函数表达，波动性就是波函数所描述的统计性质的一种表现。

量子力学和量子电动力学产生于原子物理学研究，但是它们起作用的范围远远超出原子物理学。量子力学是所有微观、低速现象所遵循的规律，因此不仅应用于原子物理，也应用于分子物理学、原子核物理学以及宏观物体的微观结构的研究。量子电动力学则是所有微观电磁现象所必须遵循的规律，直到现在，还没有发现量子电动力学的局限性。

当所研究的现象中，坐标值和动量值的乘积远远大于 h 时，量子力学和量子电动力学所得到的结果就趋近于经典力学和经典电动力学所得到的结果。例如，观察不到宏观物体的波动性的原因是因为相应的波长太短。一个质量为 1 g 的物体以 1 cm/s 的速度运动，相应的波长为 $6 \times 10^{-27}\text{ cm}$ ，远远小于目前实验技术所能测量出来的最小距离。因此经典力学和经典电动力学仍然是反映宏观力学现象和宏观电磁现象的规律的很好的相对真理。

分子物理学研究原子如何结合成为分子，分子的内部结构、内部运动状态、它的电学性质、磁学性质和光学性质等等。分子物理现象服从量子力学和量子电动力学所反映的规律。简单的分子用量子力学和量子电动力学来分析处理，得到的结果和实验结果相符合，但用量子力学和量子电动力学来处理复杂的分子，数学上非常复杂和困难，很难得到比较准确的结果。由于 X 射线衍射技术、中子衍射技术、激光技术等的发展，为研究分子提供了有力的实验手段。生命物质内部的分子结构非常复杂，但应用现有的实验技术已经能够对它们的结构包括细胞内染色体中携带遗传密码的分子结构进行详细的分析。分子物理的实验研究正在不断取得进展。