

现代物理与 中学物理

(选编)



江苏科学技术出版社

XIANDAI
WULI
YU
ZHONGXUE
WULI
XUANBIAN

现代物理与中学物理

(选 编)

主 编 李振亚
副主编 蒋华莉 杨松龄
陈庆琉 石开屏

江苏科学技术出版社

现代物理与中学物理(选编)

主 编 李振亚
责任编辑 贾丽华

出版发行 江苏科学技术出版社
(南京中央路 165 号, 邮编: 210009)

经 销 江苏省新华书店
照 排 南京理工大学激光照排公司
印 刷 丹阳兴华印刷厂

开 本 850×1168 毫米 1/32
印 张 8.5
字 数 210000
版 次 1998 年 2 月第 1 版
印 次 1998 年 2 月第 1 次印刷
印 数 1—9000 册

标准书号 ISBN 7-5345-2544-6/G·443
定 价 12.00 元

我社图书如有印装质量问题,可随时向承印厂调换

前 言

在 20 世纪、特别是 20 世纪后期,科学技术取得了突飞猛进的发展,它深刻地改变着整个世界和人类生活的面貌.这其中,很多是与现代物理学的发展分不开的.肩负着培养下一代教育重任的中学物理教师和师范院校物理系的师生,迫切需要不断充实现代物理知识,从而更好地适应中学物理教师工作.为此,苏州大学、南京师范大学、扬州大学师范学院和徐州师范大学四所高校的物理系联合编写了本书.本书力求选择恰当的中学物理与现代物理的结合点,用丰富的物理图像和通俗易懂的语言,介绍有关中学物理内容的现代发展,旨在促进中学物理教学内容的现代化.希望本书对中学物理教师在教学中培养和提高学生科学素质、科学思维方法和科学研究能力等方面有所帮助.

本书可作为高等师范院校开设选修课的教材,也可作为中学物理教师进修之用,对物理专业的研究生以及哲学、文史专业的科研工作者也有参考价值.

本书在编写和出版过程中,得到了江苏省教委教学处、教研室和四所高校领导的大力支持,特别是江苏教育设备服务中心的热情支持和帮助.

本书主编为苏州大学的李振亚,副主编为苏州大学的蒋华莉、南京师范大学的杨松龄、扬州大学师范学院的陈庆琉和徐州师范大学的张正屏.

由于时间仓促,编者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正.

编 者

1997 年

目 录

前 言	1
现代物理概述	
扬州大学师范学院 邓桂昌	1
时空的对称性与守恒定律	
扬州大学师范学院 杭庆平	13
热力学第二定律和时间箭头	
徐州师范大学 刘凤芝	23
宇宙不会“热寂”	
徐州师范大学 尹 钊	32
能量的品质与有限时间热力学	
南京师范大学 杨松龄	39
红外技术的理论基础及应用	
苏州大学 李佩赞	54
“几何”相变和逾渗	
苏州大学 李振亚 吴祖喆	65
液晶的电光特性与显示应用	
南京师范大学 梁心言	74
一种新颖的导电机制——孤子导电	
扬州大学师范学院 凌 帆	86
新型电源电动势	
苏州大学 梁芝芳 蒋华莉	107
磁光效应	
扬州大学师范学院 张锡娟	123

全反射与光纤通信	
苏州大学 蒋华莉·····	143
虹现象的数理解释	
苏州大学 方兆娃·····	154
波粒二象性与近代显微技术	
苏州大学 宋从龙·····	171
激 光	
南京师范大学 朱伯荣·····	186
可控核聚变研究的新阶段	
苏州大学 张橙华·····	203
“巨原子核”——中子星	
南京师范大学 陆建隆·····	231
高清晰度电视	
徐州师范大学 王立巍·····	246

现代物理概述

扬州大学师范学院 邓桂昌

【摘要】 本文主要是在“进入 20 世纪以后”和“以相对论、量子力学为基础”这两个特点的限制之下使用“现代物理学”这一概念的。文中概述了现代物理学中的基础理论、物质结构以及交叉学科和应用技术这三大部分的分支和内容,其中较详细地介绍了“凝聚态物理学”和“信息高速公路”的知识;另外,还阐述了现代物理学和经典物理学的关系以及在中学物理中介绍现代物理学知识的意义。

一、引 言

关于“物理学”的含义,在《现代物理知识》杂志 1989 年 1 月刊号的首篇文章中,有一简要的阐述:“物理学是自然科学中最基本的科学,它研究物质运动的最一般规律和物质的基本结构。”其他许多说法也都与此大同小异。

物理学从伽利略、牛顿时代起到 19 世纪末,主要是研究宏观、低速、弱引力场条件下的各种现象,人们把它称为“经典物理”。经典物理在人们的生产、生活以及科学研究中,都取得了极其辉煌的成就。但随着生产技术、科学实验的不断发展,到 19 世纪末期,人们发现了许多用经典物理无法解释的新现象,如速度合成的法则对于光不适用;理论上算出的水星运动轨道与观测结果总存在一个偏差;在热平衡时黑体发射出的能量随频率的分布无法用经典物理给予满意的解释……这一切终于在 20 世纪初引起了物理学

的一场革命,使之进入现代物理的阶段。

一般说来,狭义的“现代物理学”是指 20 世纪中以相对论和量子力学为基础的物理学.当然也可以对物理学只按时间划分成经典(19 世纪及以前的)物理学与现代(20 世纪以来的)物理学,从而对现代物理学进行较广义的理解。

有人把今天人类对物质世界及其运动基本规律的认识简略地概括成图 1:

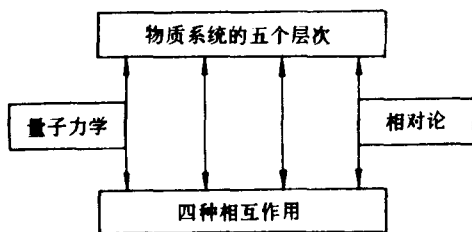


图 1 物质世界及其运动基本规律

为了更进一步对现代物理学有一个概括的了解,我们把现代物理学的内容分成基本规律(含上图的相对论、量子力学、四种相互作用)、物质结构以及交叉学科和应用技术三大部分,并分别作一些简要的介绍。

二、基本运动规律的研究

这部分内容通常称为基础理论.物理现象可按低速和高速,宏观和微观来划分,图 2 定性地标出了相应的物理学分支名称,图中 c 为光速。(见下页图)

1. 高速运动的规律——狭义相对论

在人们没有理由不接受的“狭义相对性原理”和“光速不变原理”这两个原理的基础上,合乎逻辑地推出了:同时性的相对性、动钟慢、动尺短、新的速度合成法则、时间和空间不再各自独立以及质量和能量有关、电场和磁场是一种场的不同部分……许多新概

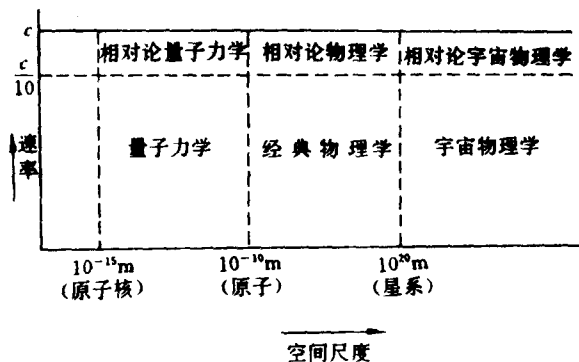


图 2 物理学的分支

念、新结论. 下面仅举一个纯滚动的例子(见图 3)以示一斑. 和一圆周的圆心相对静止并认为圆周在作纯转动的 A 认为, 该圆周的半径为 R , 周长为 $2\pi R$, 而站在一个平面上并认为该“圆周”在此平面上作纯滚动的 B 则认为其周长小于 $2\pi R$, 但纯滚动一周之后所通过的距离却大于 $2\pi R$. 懂得狭义相对论的人, 会感到这是很好理解的.

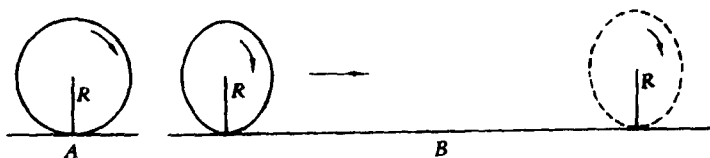


图 3 纯滚动与狭义相对论

在现代科技的许多领域, 只要涉及到高速运动, 狭义相对论就是不可缺少的理论.

2. 引力与时空的性质——广义相对论

广义相对论认为, 所谓引力场, 其实质不过是时空弯曲的一种表现. 该理论指出, 在引力场中三角形的三个内角之和不是 180° ,

各处时间流逝的快慢并不都相同. 这里举一个半定量的例子, 以便对时空弯曲有个最初步的了解. 如图 4, 设有包含一个黑洞的球面 A , 若其表面积 S_1 相当于一个半径为 8km 的球面, 即 $S_1 = 4\pi R_A^2$, 另有一个包含 A 的球面 B , 其面积 $S_2 = 4\pi R_B^2$, 其中 $R_A = 8\text{km}$, $R_B = 9\text{km}$. 但这两个球面之间的距离 d 却可以远远大于十万八千里, 若在 A 上的时间流逝 1s , 而在 B 上却可以是若干年.

对地球表面的时空, 也可以算出其弯曲的情况. 如在一楼的时间流逝 1s , 那么在 10m 高处的楼上, 其时间流逝为 $(1 + 10^{-15})\text{s}$. 当然, 在地球的这种弱引力场中, 其引力效应(或说时空的弯曲)是完全可以忽略的, 但对可产生强引力场的中子星、黑洞的研究, 广义相对论就是必不可少

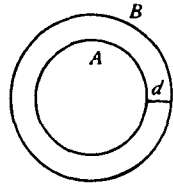


图 4 时空弯曲与广义相对论

的理论. 对于大尺度时空的研究或在宇宙学中, 因时空弯曲的积累已十分显著和十分重要, 因此也一定要用广义相对论.

3. 微观世界的规律——量子力学

量子力学是研究微观粒子运动规律的基础理论. 一般说来, 一个客体的动量 mv 和它运动范围的线度 r 的乘积 mvr 小到普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34}\text{Js}$ 的数量级时, 就要用量子力学的理论来描述. 相对于宏观世界, 在微观世界中有许多新奇的现象, 如波粒二象性、不连续、不相容、测不准、全同性、隧道效应, 等等. 量子力学在现代物理学及许多学科中有着极为广泛的应用.

在量子力学基础上, 又相继建立了所谓的量子电动力学和量子色动力学. 前者是研究电子和电磁场之间相互作用的量子理论, 已是一个非常成熟的理论体系, 后者在强相互作用的研究中, 也已取得很大的成果. 至于量子引力的研究, 即用量子场论的方法研究引力, 则还在探索中前进.

4. 统一理论

在物理学的发展过程中,一方面是不断出现新的研究领域,人们不断揭示出新的物理规律;另一方面人们又不断发现在以前认为互相独立的现象或规律之间存在着内在的联系,它们可以综合在一个统一的规律之中.如经典物理学中曾出现过独立的力、声、热、电、磁、光等研究领域,到后来人们认识到,声学的基本规律源于力学,而电和磁分别是电磁运动中的特殊现象,至于光不过是频率很高的电磁波.

在现代物理学中,最大的统一是基本作用力的统一.在自然界中存在四种基本作用力:引力、电磁力、强相互作用力和弱相互作用力.自爱因斯坦以来,科学家们越来越坚信自然界的和谐统一性.于是,有许多优秀的物理学家投入到统一基本力的艰苦征程之中.在1967年,首先完成了弱电的统一,为此有三位物理学家(温伯格(Weinberg S)、萨拉姆(Salam A)、格拉肖(Glashow SL))同获1979年度的诺贝尔物理学奖.对于强和弱电的统一,即大统一理论,已建立了所谓的“标准模型”,它还不是一个十分完美的理论,仍在进一步发展之中.至于把引力也包括在内的超大统一理论,到最后完成还有一段距离.

总之,20世纪对基本运动规律的研究,在前30年因相对论和量子力学的建立而使物理学发生了一次飞跃,物理学由第一阶段(经典物理)进入第二阶段(目前姑且称之为“现代物理”,未来也许会换个叫法).而在后70年的发展是放慢了脚步,主要成果如量子场论,规范场理论,弱电统一理论以及对爱因斯坦场方程的求解,关于早期宇宙、黑洞的理论等.但是,许多人都已正确地认识到,这表明物理学的基础理论正处于量变阶段,处于能量的积聚,又一次大突破、大飞跃的酝酿时期.不是吗?广义相对论和量子力学目前虽然还没有统一起来,但它们在黑洞问题中已经交汇在一起.人们对超大统一理论已作了若干尝试,其中许多方案或研究方向还

是很有希望的。人们到能够掌握和利用引力波、小黑洞，虽然还有一段距离，但这方面的理论研究和实验探测正在积极进行并不断发展。越来越多的人预感到，继现代物理之后，物理学基础理论的又一次重大突破已为时不远。而一旦取得突破，则其在物理学史乃至整个科技史、人类社会发展史中所起的作用，比起因在 20 世纪前 30 年建立起现代物理基础理论而引起 20 世纪人类科技、生产、生活的变化来，只能是有过之而无不及。现在我们无法具体想像和描绘到那时人类的科学技术、生活状况又将如何，这就像 19 世纪末的人很难想像和描绘我们今天的宇宙飞船、彩电、电脑一样。但可以肯定的是，物理学的前景及其对社会的影响是会更加令人兴奋和激动的。但这一飞跃何时才能到来，这与当今许多优秀物理学家的工作进展有密切的联系。有不少人预测，这一飞跃也许就发生在 21 世纪初，最晚在 21 世纪中叶，20 世纪末的年轻人是可以亲眼看到的。

三、物质结构和性质的研究

这部分内容可简称为“结构物理学”或“物态物理学”。大体上可以按物质的尺度层次再分成若干分支。

1. 粒子物理学和(原子)核物理学

粒子物理学是人们探索、研究构成物质世界的“基本砖块”的前沿阵地。在很长时间里，人们把质子、中子等粒子看成是“基本粒子”，按这种看法，人们发现的“基本粒子”已有上百种。不过，现在更多的人把迄今尚未发现有结构的粒子称为基本粒子，这样就可以把现在的基本粒子分成三大类：第一类是不参与强相互作用的轻子(共三代，12 种)；第二类是组成强子的夸克(分六“味”、三“色”，连同其反粒子共 36 种)；第三类是传递各种相互作用的媒介粒子(包括光子 γ 、胶子 G 、中间玻色子 W^\pm 和 Z^0 、引力子 g)。在这些基本粒子的研究历程中，有的如电子，是先在实验中探测到，然后才对其有所认识的；有的如中间玻色子，是先在理论上预言其存

在,后来才发现的;还有的如引力子,尽管理论上早有预言,但直到目前尚未在实验上得到证实。

对原子核的研究,不仅具有重大的理论意义,而且在核能的利用上(如核电站)已起了巨大的作用。其他如同位素示踪、射线辐照技术、穆斯堡尔效应等,在工农业生产、医学和其他科学研究中都获得了重要而广泛的应用。

2. 等离子体物理学

等离子体是指由带正电的离子和带负电的电子组成的、在宏观上呈电中性的系统。在地球高空的电离层、太阳体内以及恒星、星云和星系中都大量存在。目前科学家们认为,对等离子体的研究和控制是实现“可控核聚变”的重要途径。

3. 原子物理学和分子物理学

原子物理学和分子物理学分别研究原子和分子的结构及其运动规律和相互作用。这一领域的研究不仅在物理学内部诸如光学、激光、超导、固体物理等分支学科中有很大的应用,而且与化学、生物学、医学等学科也都有很密切的联系。

4. 凝聚态物理学(含固体物理学)

凝聚态物理学是把固体、液体及液晶等凝聚体作为研究对象的。在体现当代科学技术特征的材料、能源、信息三大领域中,凝聚体都起着重要的作用。如半导体→晶体管→集成电路导致了计算机的飞速发展;而各种敏感(热敏、压敏、声敏、光敏、气敏……)材料的研制成功,使得自动控制技术不断提高。显而易见,激光材料、超导材料是激光技术、超导技术赖以生存的土壤。而原子反应堆、宇宙飞船等需要耐高温、耐辐射、强度高、质地轻的固体材料,这些材料的研制不仅促进了相应高科技的发展,而且凝聚态物理学自身也得到长足的进步。有人说“凝聚态物理学是当今物理学中最庞大、同时也是发展最为迅速的一个分支学科”是完全正确的。前不久,凝聚态物理学中“纳米材料科学”又异军突起,发展势头迅猛。

现在作一简要介绍：

材料的尺寸进入纳米 ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) 量级, 由于小尺寸效应、表面与界面效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应所起的重要作用, 使其具有一般晶体(远程有序结构)与非晶体(近程有序结构)所不具有的许多特性. 如原来是良导体的金属, 变成了绝缘体; 原来是 P 型半导体, 变成 N 型半导体; 原来硬而脆的陶瓷若由纳米微粒组成, 就能具有很好的韧性及塑性. 其他如纳米材料的比热、热膨胀系数、磁化率、磁学矫顽力等也都发生了很大的变化. 因而用纳米微粒可以制出许多性能优异、用途广泛的产品. 如在信息磁记录上, 能大大提高容量、密度和信噪比, 并使磁记录的读写速度大大加快. 人们不久前制出的磁性液体, 具有固体的磁性和液体的流动性, 从而开辟了一个固体磁性材料难以应用的新领域. 纳米材料用于高温磁致冷, 有希望最终取代氟里昂, 而其微波吸收性能又使其可用于电磁屏蔽及飞机隐形. 另外, 其巨磁阻效应的应用, 因其很强的敏感性能而在传感器上的应用, 因其强催化能力而在催化方面的应用, 等等, 都在迅速地展开.

著名科学家钱学森在 1991 年预言: “我认为纳米左右和纳米以下的结构将是下一阶段科技发展的重点, 会是一次技术革命, 从而将是 21 世纪又一次产业革命.” 1990 年 7 月, 在美国巴尔基摩召开了国际第一届纳米科学技术学术会议, 正式把纳米材料科学作为一个新的分支公布于世. 我国于 1995 年 2 月在合肥召开了“全国纳米材料科学会议”, 会议收到论文 200 余篇, 并展示了不少成果.

5. 天体物理学和宇宙学

利用现代物理的基础理论和先进的观测计算技术, 本世纪的天体物理学发展很快. 如发现了白矮星、脉冲星(后证明是中子星)、类星体等许多新的天体, 揭示了中子星、黑洞的许多新奇性质. 而现代的天体演化理论, 很好地描述了恒星的一生, 对赫罗图

(反应恒星在光度和光谱型图上的分布规律)、超新星、重元素的形成等都给出了很好的解释。

1917年,爱因斯坦发表了《用广义相对论对整个宇宙的考察》这一著名论文,提出了有限无界的静态宇宙模型。人们常把这一年说成是现代宇宙学的开始。在现代宇宙学中,最有影响的理论莫过于宇宙演化的大爆炸理论。该理论指出,我们的宇宙产生于大约150~200亿年前,在极早期的宇宙中,不仅没有一个星球,而且根本就没有任何分子和原子,宇宙极热、极密,充满各种粒子波……初听起来也许难以置信,但该理论有着哈勃红移、微波背景辐射、元素丰度、射电源计数、宇宙年龄等许多重大观测事实的支持,在学术界被称为标准宇宙模型。

四、交叉学科和应用技术

因为物理学是自然科学中最基本的科学,物理学的发展必然会促进其他科学的发展。尤其是现代物理学在量子力学的基础上对分子、原子、电子、原子核都进行了卓有成效的研究,在这一层次上的工作理所当然地会促使化学、农学、医学、生物学的发展。当然,物理学的发展也会受益于其他学科(如数学、仿生学等)。而更多的情况是物理学和其他学科互相结合,形成新的交叉学科来更好地为人类服务。所以,当我们看到或听到如下一些学科名称时,也就不会感到陌生了:化学物理、物理化学、生物物理学、农业物理学、医学物理学、地球物理学、环境物理学、大气物理学、海洋物理学、数学物理学、计算物理学、激光化学、激光生物学、激光医学、信息光学……

现代物理学促使现代技术发展的例子更是举不胜举。在前面的叙述中,尤其在介绍凝聚态物理学时已讲了不少。在此再补充一点,即由于新材料的研制以及电子学、现代光学等学科的理论研究,使计算机技术、光纤通讯技术不断提高,终于使人们在不久前正式提出了全球性的“信息高速公路”建设。我们仅以此来领略一

下人们的生活又将随之发生怎样的变化。

人类社会已进入信息社会，信息量爆炸般激增。如何及时传送这样庞大的信息便成为影响社会各方面的首要问题。类似高速公路可以高速、大量地传送物质，信息高速公路可以高速、大量地传送数据、文字、图像、声音等信息。待其建成之时，人们可以迅速查询、利用世界各地的资料、数据，从而调整产业结构，极大地推动生产和科技的发展。电视电话使相距遥远的人可以“面对面”地交谈，甚至多人交谈；办公室人员可以在家“办公”、“开会”；学生可以在家里“上课”。若想购物，在家就可以对全国甚至全世界同类厂家的商品进行比较，决定购买了，只需把决定通知厂商，即可送货上门。若生病了，可以在家直接向医生咨询，相隔千里的医生们也可以进行会诊。在家里可以随心所欲地欣赏各种电视节目，用不着什么录像带，也不受是否正在播放的限制。有人估计，信息高速公路建成之后，现在的交通运输流量将会减少 30% ~ 40%。

这已不是遥远的事情，世界发达国家在一二十年内将大面积建成信息高速公路，我国最迟在四五十年内也将在全国范围建成信息高速公路。

五、现代物理与中学物理

1. 现代物理与经典物理

现代物理是在经典物理的基础上发展起来的。而现代物理中的基础理论——相对论和量子力学，有一个共同的特点，即当狭义相对论中研究对象的速度远小于光速时，广义相对论中所涉及的引力场很弱或忽略引力的高阶效应时，以及量子力学所研究对象的尺度和质量增大成日常的宏观物体时，它们又都自动地回复到经典物理的理论。也就是说，它们不是否定了经典物理，而是使经典物理成为特定条件下的近似理论。经典物理知识在我们的日常生活和生产中有着，并且永远有着大量的应用。另外，学习经典物理知识也是学习现代物理知识所必需的。

再者,经典物理学本身的内容也在不断地丰富和发展,有些内容同样成为 20 世纪物理学中的前沿课题,例如经典混沌、分形和分维等.

2. 现代物理与中学物理

中学物理中的绝大部分内容是经典物理的内容,这当然是需要的.但随着物理学的发展,中学物理会随之不断发展.从物理教学的角度讲,在中学物理中不断增加现代物理知识的内容是必然的趋势.这些知识除写进物理课本之外,更多的可由教师穿插在讲课中或在课外科技活动及选修课中介绍,包括向学生推荐深浅适度的优秀读物.

从中学生的角度讲,如果在牢固掌握大纲规定的基本内容的基础上,通过各种渠道的学习来适当了解现代物理的发展状况,这对他们开阔视野、活跃思想,在潜移默化中培养和提高自己的科学素质是大有裨益的.具体地讲,通过对现代物理重大分支内容的大体了解,通过接触一些新概念、新结论,初步了解现代物理和其他学科及现代技术的关系以及它们的发展趋势,进一步感受到物理学研究内容之广泛、之基础、之重要,进一步体会到物理学是不断发展着的科学(破除类似“绝对真理”、“最终理论”、“书本上写的、老师讲的就是真理”等形而上学思想).这样的学习极易启发学生们勤于思考,悟物穷理,极易促使学生们不断向自己提出问题:所学的知识中哪些是事实?哪些是推论?推论是怎样得出的?我为什么要相信它……即除了培养学生们分析问题、解决问题的能力之外,还将培养学生们提出问题的能力.总之,中学生了解一些现代物理的知识后,其科学素质必定会得到较大的提高.

参 考 文 献

1. 汤拒非. 20 世纪物理学——人类的骄傲. 现代物理知识, 1994; 4: 2
2. 熊家炯. 物理世界的空间尺度和时间尺度. 现代物理知识, 1989; 2: 13
3. 邓桂昌. 狭义相对论中的纯滚动. 扬州师院学报, 1993; 4: 60