



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

基础物理述评教程

第二版

潘 根 编 著



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

基础物理述评教程

(第二版)

潘 根 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,其前一版是教育部“面向 21 世纪”系列教材,被全国高等院校教学研究中心列入“优秀教材”行列。

全书包括力学、热学、电学、光学、相对论、量子物理。各篇在指导思想和风格上一脉相承,但在内容上有相对独立性,每一篇都可以自成体系。作为本科普通物理课教材,主要是指力、热、电、光四篇,约需 144 学时。书后附有全书习题的详细解答。书中有作者自己的研究心得。力学篇里提出了“时间定理”,导出了牛顿第二定律和第三定律。热学篇里用无序运动模型定义了熵,使熵获得了直观性,作出了“熵增加原理肯定不具有普遍性”的判断。电学篇里用逻辑方法导出了磁场,使磁学彻底隶属于电学。光学篇里对菲涅耳反射折射公式作了修正,还导出了光见度函数。相对论篇里提出了引力-电磁统一场论,证明了“引力场的能量只能是负定的”,使霍金-彭罗斯奇点定理的前提条件“能量正定”不能处处成立。量子篇里利用波的稳定条件导出了普朗克能量子和索末菲量子化条件,借助于黑洞理论建立了粒子模型,导出了德布罗意波粒二象性公式和薛定谔方程。

本书适合普通高等学校学习大学物理的学生使用,也可作为教师或相关人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

基础物理述评教程/潘根编著. —2 版. —北京:科学出版社,2011.7
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-031794-0

I. ①基… II. ①潘… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 131752 号

责任编辑:昌盛 郝泽潇 杨 然 / 责任校对:鲁 素
责任印制:张克忠 / 封面设计:华路天然图文设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林局有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 7 月第 二 版 印张:36 3/4

2011 年 7 月第三次印刷 印数:6 001—9 000

字数:850 000

定价:74.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

作为“开放式教材”方面的一种尝试,本书的背景是这样的:1986年,国家教育委员会(教育部)理科普通物理教材建设组研究了中美联合招考研究生(CUSPEA)的普通物理试题,获得的印象是这些试题要求考生灵活地运用知识,有些试题实际上已经沾了一点理论物理的边,国内的普通物理教材难以适应这种考试.于是有人提议,要开放普通物理的边界,把普通物理改名为基础物理,以便让学有余力的学生不再受传统框架的束缚,并让课堂带有一点学术讨论的气氛.在这之后的十年中,作者按这种思想作了教改尝试,发现“有述有评”的方案最受欢迎.本书的第一版就是以这种教学实践为依据,于2002年1月出版的.它在叙述基本概念和物理图像方面是采用普通物理的写法,作进一步的论证时则采用理论物理的写法,因而能在普通物理与理论物理之间起桥梁作用.

第二版仍然保留了第一版的“有述有评”的特色,但在内容的编排上有了改进.第一版是让“评”方面的主要内容集中在最后面的“探索篇”里,这就带来了“评与述脱节”的问题;第二版则把原“探索篇”里的内容改写成几篇标有“学术研究”字样的论文,紧接在相关的教学内容后面,意在“趁热打铁”.第一版把普通物理范畴的光学与理论物理范畴的量子物理合并并在“光学与量子物理”篇里;第二版则把该篇拆为两篇.第一版把相对论放在“力学”篇里;第二版则将相对论与宇宙学组成一篇.这样一来,全书就共分成了六篇,普通物理课的基本内容集中在前四篇里,后两篇则侧重于学术研究.

第一版里存在“例题偏少,习题偏难”的问题;第二版中附上了详细的“习题解答”,用以代替第一版里的只有结果的“习题答案”,这就使习题兼有例题的功能,并能在学生解题感到困难时起“答疑”的作用.

把“探索篇”拆成为几篇论文,不只是形式上的改变,实际上在内容方面也有重要的修改和补充,这是因为作者近年来的研究工作有了新进展.例如:

(1) 研究量子的物理图像时发现:只要把保守力系的稳定条件应用于波,就不仅能导出辐射场特有的普朗克能量子,还能导出对任意的广义动量都适用的玻尔-索末菲量子化条件;粒子的静止能量 $E_0 = h\nu_0$ 中的 ν_0 不是实际频率,粒子内部运动的实际频率应当是 $\nu_0/2$;只要把粒子设想为由回旋的电磁波和引力波构成的微小黑洞,就可以把电子、中微子同夸克统一起来,基本电荷应为 $e/3$.

(2) 研究不确定度原理时发现:在赋予数学式 $\Delta p \Delta x \geq \hbar/2$ 以物理内容时,海森伯的做法是属于“偷换概念”.如此得到的所谓不确定度原理,不仅在应用于双粒子系统时会出现爱因斯坦等的 EPR 佯谬,实际上在应用于单粒子时也会出现佯谬,而且不止一个.

(3) 研究施图姆-刘维尔型方程时发现:联属勒让德函数的本征值应当是 $1/2$ 的整数倍,而不是限于整数.这种函数不仅会出现在轨道波函数中,还会出现在描述粒子内部运动的自旋波函数中.半奇数不可能属于几何点式的粒子.

(4) 研究热力学第二定律时发现:利用质点组力学中的柯尼西定理可以把“有序能”和“无序能”分离开来,对平衡态和非平衡态都适用的“广义熵”可直接利用“无序能”来定义,如此定义的熵具有直观的物理图像,因而原则上能用实验方法来显示熵增加原理的局限性.

(5) 研究热力学第三定律时发现:只要把温度的统计性与谐振子的量子模型结合起来,就

能揭示热力学第三定律的物理实质.

(6) 研究统计系综理论时发现:把概率定律的原始形式应用于负能态系统时,温度必须是负的,因而负能态系统应当是“能量越高越稳定”.由此可知,狄拉克的“负能态电子海”假说是违背统计规律的.

(7) 研究宇宙学问题时发现:霍金-彭罗斯奇点定理的前提条件中的“能量正定”属于人为的规定,它不能普遍地成立.

本书的第一版里已经提出了引力-电磁统一场论,那是作者 1961 年在狭义相对论框架内完成的工作.如今知道,李政道的老师束星北先生早在 1933 年就已经发表了一个与作者的理论极为相似的理论,他是在广义相对论的框架内通过取近似得到的.遗憾的是,他的论文在沉睡了 70 年之后才被传记作家发现.料想这种涉及广义相对论的工作很快就会因为缺少读者而再次被人们遗忘,因此,作者在修订本书时特意替他补记了一段.

本书中还将公布天文学家戴文赛先生生前的演说、谈话和书信中的与宇宙学有关的内容,他的观点与当代主流派针锋相对.当代的宇宙学被无中生有论者一统天下.实际情况究竟如何?真正的科学应当经得起时间的考验,让后人去评说吧!

潘 根

2010 年 11 月于南京大学

醉 太 平

本书完稿之时,想起戴文赛^①先生的教诲,填词一首,遥寄太空。

壮志易立,知音难逢。幸得先生激励,百折仍从容。
评千年事,留万古风。自古新说和寡,不图眼前功。

第一版前言

本书是作者近四十年来教学和基础研究工作的总结。

物理教材的传统写法是以科学发现的历史顺序为线索,本书则是以科学本身的逻辑关系为线索。尽管历史顺序与逻辑顺序是大致一致的,但毕竟还是有区别的。不同经验定律之间的内在联系未必都是直接的,当它们之间的桥梁还未被发现的时候,人们就有可能误把相互关联的定律当作是彼此独立的。尽管某些“桥梁”后来被发现了,但“先入为主”造成的错觉却难以改变。

任何一种新的经验定律,如果不能提出新的基本量,那就很可能不是真正的基本定律。凭这种信念审查现有理论,终于发现:力学中的牛顿第二定律和第三定律,热学中的热力学第零定律和第三定律,电磁学中的磁场以及与磁场有关的全部经验定律,光学中的光见度函数,狭义相对论中的光速不变原理,广义相对论中的广义相对性原理,都是可以用逻辑方法导出的。

本书中的特殊内容是:在力学篇中提出时间定理,用能量观点处理广义相对论问题;在热学篇中提出统计力学基本微分方程,解释上增加原理的局限性;在探索篇中提出引力-电磁统一场论,用逻辑方法导出量子力学,向大爆炸宇宙论挑战。

作为教材,不能不考虑可接受性,并且不能不考虑传统的影响,因而本书采用“述评”的格式。“述”是叙述传统的内容,处于正文地位,基本上保留着传统框架;“评”是作者的评论、注释、科学史料和研究心得,放在“插话”里。本书只要求学生根据专业需要掌握常规的内容,正文部分基本上能满足这种要求。本书通过评论来揭示逻辑关系,不强加于人。

科学是不讲情面的,真理不是由权力和威望确定的。任何时代都有一些杰出人物被奉为真理的化身,但最终都证明了他们是“人”而非“神”。墨子、亚里士多德、牛顿、爱因斯坦,有谁没有说过错话?他们都确实对人类作出过巨大贡献,无疑是历史的巨人。但他们没有自封为神,也没有把别人当作神。自古以来,神都是由人制造出来的。科学要对人类负责,不能提倡盲从,不能让所谓“公认”代替自己的洞察和思考。

本书如能对盲从、偏见和怯懦心态有所冲击,那就应当算是有了额外的收获。从素质教育角度看,这种额外的训练也许比正统的说教更为重要。

潘 根

2001年8月于南京大学

^① 戴文赛,天文学家。早年留学英国剑桥大学,师从爱丁顿。曾任中国天文学会副理事长、南京大学天文学系主任等职。太阳系里有一颗小行星被命名为戴文赛星,故云“遥寄太空”。

目 录

第二版前言

第一版前言

绪论	1
0.1 物质世界	1
0.1.1 物质 空间和时间	1
0.1.2 物质世界的层次	1
0.1.3 物质间的相互作用	1
0.1.4 物质不灭原理	2
0.1.5 宇宙的无限性	3
0.2 物理学	3
0.2.1 物理学的对象	3
0.2.2 物理学的产生和发展	3
0.2.3 单位制和量纲	4
0.2.4 普朗克单位	5
0.2.5 数量级	6
0.2.6 物理课的意义	6

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	9
1.1 质点运动的描述	9
1.1.1 位置和轨道	9
1.1.2 位移和路程	9
1.1.3 速度和速率	9
1.1.4 加速度	10
1.1.5 动势	10
【学术研究】 空间和时间问题	11
1.2 坐标系的运用	17
1.2.1 直角坐标系	17
1.2.2 平面极坐标系	18
1.2.3 自然坐标系	21
1.3 相对运动	22
1.3.1 绝对运动、相对运动和牵连运动	22
1.3.2 相对平动	22
1.3.3 相对转动	24

习题	25
第 2 章 质点动力学	26
2.1 基本定律	26
2.1.1 亚里士多德对运动原因的解释	26
2.1.2 伽利略的实物实验和思想实验	27
2.1.3 牛顿运动定律	29
【学术研究】 牛顿第二定律和第三定律的导出	31
2.2 常见的几种力	33
2.2.1 万有引力	33
2.2.2 弹性力	35
2.2.3 摩擦力	36
2.2.4 黏性力	38
2.3 基本方法	39
2.3.1 分隔物体法	39
2.3.2 分组解题法	40
2.3.3 解题规范	42
2.4 动量定理	42
2.4.1 质点的动量定理	42
2.4.2 质点组的动量定理	43
2.4.3 动量守恒原理	44
2.4.4 质心运动定理	44
2.5 功和能	45
2.5.1 功	45
2.5.2 能	46
2.5.3 动能	46
2.5.4 柯尼西定理	47
2.5.5 势能	47
2.5.6 动能定理	48
2.5.7 功能定理	49
2.6 碰撞	50
2.6.1 碰撞定律	50
2.6.2 弹性碰撞和非弹性碰撞	51
2.7 非惯性参考系	51

2.7.1 平动加速参考系	51	第5章 振动与波	75
2.7.2 转动参考系	52	5.1 简谐振动	75
习题	52	5.1.1 振动函数	75
第3章 刚体力学	54	5.1.2 简谐振动的运动学特征	76
3.1 刚体运动学	54	5.1.3 简谐振动的动力学方程	77
3.1.1 刚体的一般运动	54	5.1.4 简谐振动系统的能量	78
3.1.2 定点转动和定轴转动	54	5.2 摆的运动	79
3.1.3 平面平行运动	55	5.2.1 单摆	79
3.2 动量矩和转动惯量	55	5.2.2 复摆	79
3.2.1 动量矩	55	5.3 阻尼振动和受迫振动	79
3.2.2 刚体的惯量张量	57	5.3.1 阻尼振动	79
3.2.3 转动惯量的计算	57	5.3.2 受迫振动	80
3.3 动量矩定理和转动定理	60	5.3.3 共振	81
3.3.1 力矩	60	5.4 振动的合成	83
3.3.2 动量矩定理	61	5.4.1 同方向的两种振动的合成	83
3.3.3 转动定理	62	5.4.2 相互垂直的两种振动的合成	83
3.4 功和能	63	5.5 波函数与波动方程	84
3.4.1 力矩的功	63	5.5.1 波函数	84
3.4.2 刚体的动能	63	5.5.2 波速	85
3.4.3 刚体的势能	64	5.5.3 波动方程	86
3.5 陀螺	64	5.6 波的动力学方程	86
3.5.1 陀螺的一般运动	64	5.6.1 弹性绳中的横波	86
3.5.2 回转效应	64	5.6.2 固体内的横波	87
习题	65	5.6.3 固体内的纵波	87
第4章 流体力学	67	5.6.4 液体内的纵波	87
4.1 流体静力学	67	5.6.5 气体内的纵波	88
4.1.1 流体内的静压强	67	5.6.6 重力场中液体的表面波	88
4.1.2 重力场中的流体压强	67	5.6.7 真空中的电磁波	89
4.1.3 阿基米德原理	68	5.7 波的能量	89
4.1.4 帕斯卡原理	68	5.7.1 能量密度	89
4.2 理想流体的运动	69	5.7.2 能流密度	90
4.2.1 连续性方程	69	5.8 声波	90
4.2.2 伯努利方程	69	5.8.1 声波的强度级	90
4.2.3 理论的应用	70	5.8.2 声压	91
4.3 实际流体的运动	71	5.9 波的叠加	91
4.3.1 牛顿黏性定律	71	5.9.1 叠加原理	91
4.3.2 泊肃叶公式	71	5.9.2 波的干涉	91
4.3.3 斯托克斯公式	72	5.9.3 驻波	93
4.3.4 雷诺数	73	5.9.4 波的衍射	93
习题	74		

5.9.5 波的反射和折射	93
5.10 多普勒效应与冲击波	94
5.10.1 多普勒效应	94
5.10.2 冲击波	95
习题	95

第二篇 热 学

第6章 热力学基础

6.1 热力学第零定律 温度	101
6.1.1 平衡态	101
6.1.2 热力学第零定律	101
6.1.3 摄氏温度定理	102
6.1.4 温标和温度计	103
6.1.5 物态方程	103
6.1.6 过程方程	104
6.1.7 物态方程的测定	104
6.1.8 稀薄气体和理想气体的物态 方程	105
6.2 热力学第一定律 内能	106
6.2.1 第一类永动机	106
6.2.2 热力学第一定律	106
6.2.3 热力学第一定律的特例	108
6.2.4 用焓描述的热力学第一定律	108
6.2.5 热容与比热	108
6.2.6 热容量的计算	109
6.2.7 理想气体的热容和内能	110
6.3 等值过程	111
6.3.1 处理等值过程的一般步骤	111
6.3.2 理想气体的等值过程	112
6.4 循环过程	114
6.4.1 正循环和逆循环	114
6.4.2 卡诺循环	116
6.5 热力学第二定律 熵	116
6.5.1 第二类永动机	116
6.5.2 热力学第二定律的表述	116
6.5.3 卡诺定理	117
6.5.4 开尔文温标	118
6.5.5 克拉珀龙蒸汽压方程	119
6.5.6 克劳修斯等式和不等式	120
6.5.7 熵定理	121

6.5.8 广义熵	121
6.5.9 熵的计算	122

【学术研究】熵增加原理问题

6.6 热力学基本微分方程及其推论	131
----------------------------	-----

6.6.1 热力学基本微分方程	131
6.6.2 热力学函数	132
6.6.3 过程的方向与平衡判据	133
6.6.4 麦克斯韦关系式	135
6.6.5 特性函数	136
6.6.6 热力学函数与物态方程之间的 关系式	137

6.7 热力学第三定律 绝对熵

6.7.1 热力学第三定律	137
6.7.2 热容的低温极限	138
6.7.3 绝对熵	138
6.7.4 能斯特定理的导出	139
6.7.5 等体压强系数和等压膨胀系数的 低温性质	139

【学术研究】热力学第三定律问题

习题	142
----------	-----

第7章 统计力学基础

7.1 分子模型	144
7.1.1 分子的点阵模型	144
7.1.2 两种自由度	144
7.1.3 分子力	146
7.1.4 分子的球化模型	147
7.2 微观态的描述	148
7.2.1 相空间和相格	148
7.2.2 微观相貌和分布方式	150
7.2.3 等概率原理 热力学概率	151
7.2.4 热力学概率级	151
7.2.5 系统的内能	152
7.3 基本理论	153
7.3.1 基本定律	153
7.3.2 近平衡条件	153
7.3.3 统计力学基本微分方程	154
7.3.4 α, β, γ 和 S 的物理意义	154
7.3.5 平衡态的微分方程	155
7.3.6 分布函数	156

7.10.5 混乱度(熵)的计算	177
7.10.6 热力学微分方程的导出	178
习题	178

第 8 章 基本理论 183

8.1	电荷与电流	183
8.1.1	电荷	183
8.1.2	电流	184
8.1.3	电荷守恒原理	185
8.1.4	电荷-电流连续性方程	185
8.1.5	基尔霍夫第一定律	186
8.2	静电力和静电场	186
8.2.1	库仑定律和叠加原理	187
8.2.2	电场强度	188
8.2.3	静电环路定理	188
8.2.4	静电标量势	189
8.2.5	基尔霍夫第二定律	189
8.2.6	电场的高斯定理	190
8.2.7	泊松方程和拉普拉斯方程	191
8.2.8	例题	192
8.3	总电流和磁场	195
8.3.1	磁荷假说	195
8.3.2	位移电流的导出	196
8.3.3	磁场的导出	198
8.3.4	毕奥-萨伐尔定律的导出	198
8.3.5	磁矩	200
8.3.6	磁场的通量定理	202
8.3.7	安培环路定理	203
8.3.8	磁路定理	205
8.4	电磁力与电磁感应	206
8.4.1	安培定律的导出	206
8.4.2	洛伦兹电磁力的导出	208
8.4.3	法拉第电磁感应定律和楞次定律 的导出	210
8.5	电磁场方程组	214
8.5.1	麦克斯韦方程组	214
8.5.2	电磁势 洛伦兹条件	215
8.5.3	洛伦兹方程	216
8.5.4	解的唯一性定理	218

习题	219	10.4 正弦交流电路	256
第9章 导体和介质	220	10.4.1 正弦信号及其复数表示法	256
9.1 导体 电阻	220	10.4.2 阻抗和导纳 广义欧姆定律	257
9.1.1 自由电荷和束缚电荷	220	10.4.3 谐振电路	260
9.1.2 静电场中的导体	220	10.4.4 电功率	261
9.1.3 微分欧姆定律	221	10.4.5 品质因素—— Q 值	263
9.1.4 欧姆定律	222	10.5 变压器耦合电路	264
9.1.5 电阻率的测量和电阻的计算	223	10.5.1 变压器及其特性方程	264
9.2 电介质 电容	225	10.5.2 变压系数和耦合系数	265
9.2.1 介质的极化	225	10.5.3 变压器耦合电路	266
9.2.2 极化强度的通量定理	225	10.6 电机和三相电	267
9.2.3 电位移及其高斯定理	226	10.6.1 发电机	267
9.2.4 电场的边界条件	227	10.6.2 三相电的接法	268
9.2.5 电容的计算	228	10.6.3 线电压和线电流	269
9.3 磁介质 电感	230	10.6.4 电动机	270
9.3.1 介质的磁化	230	* 10.6.5 如何用异步电动机来发电	271
9.3.2 磁化强度的环路定理	231	习题	273
9.3.3 磁场强度的环路定理	231	第11章 电磁波与电荷的辐射	275
9.3.4 磁场的边界条件	233	11.1 电磁波	275
9.3.5 电感的计算	233	11.1.1 介质中的电磁波	275
习题	235	11.1.2 导体中的电磁波	276
第10章 电路基础	237	11.1.3 色散和吸收	277
10.1 电路的基本元件	237	11.1.4 波导管里的电磁波	278
10.1.1 阻抗类元件 特性方程	237	11.2 电磁场的动量和能量	279
10.1.2 电压源和电流源 电源的等效变换	239	11.2.1 处理动量和能量问题的思路	279
10.2 电路的基本定律	241	11.2.2 电磁场受到的两种力	279
10.2.1 基尔霍夫定律及其实用形式	241	11.2.3 电磁场的动量和应力	281
10.2.2 电路的独立方程	244	11.2.4 电磁场的能量和能流	282
10.3 电路的计算	246	11.3 电荷的自能和辐射	283
10.3.1 支路电流法	246	11.3.1 电荷的自能	283
10.3.2 环路电流法	249	11.3.2 电荷的辐射场	283
10.3.3 节点电压法	250	11.3.3 辐射阻尼	286
10.3.4 叠加法	252		
10.3.5 互易法	253	第四篇 光 学	
10.3.6 补偿法	254	第12章 波动光学	293
10.3.7 星形接法和三角形接法的等效变换法	254	12.1 惠更斯-菲涅耳原理	293
10.3.8 等效电源法	255	12.1.1 亥姆霍兹方程	293

12.1.2 惠更斯-菲涅耳原理	294	12.5.5 光弹性效应	323
* 12.1.3 对惠更斯-菲涅耳原理的定性 解释	294	12.5.6 电光效应	324
* 12.1.4 对惠更斯-菲涅耳原理的严格 证明	295	12.5.7 磁光效应	325
12.2 界面定理	297	习题	325
12.2.1 反射定律和折射定律	297	第 13 章 成像与信息处理	326
12.2.2 菲涅耳反射折射公式	298	* 13.1 费马原理及其推论	326
* 12.2.3 对菲涅耳反射折射公式的修正	299	13.1.1 费马原理	326
12.2.4 全反射定理	301	13.1.2 费马原理的推论	326
12.2.5 布儒斯特定律	302	13.2 单球面成像	328
* 12.2.6 对布儒斯特定律的修正	302	13.2.1 近轴球面折射公式	328
12.2.7 相位定理 半波损失	303	13.2.2 近轴球面反射公式	329
12.2.8 可逆性定理	303	13.2.3 焦距与光焦度	330
12.3 光的衍射	303	13.2.4 高斯公式和牛顿公式	330
12.3.1 平面屏幕衍射的一般表述	304	13.2.5 放大率	331
12.3.2 菲涅耳衍射	304	13.2.6 单球面的拉氏不变式	331
12.3.3 夫琅禾费衍射	305	13.3 共轴球面系统	332
12.3.4 单缝衍射	306	13.3.1 共轴球面系统的拉氏不变式	332
12.3.5 光栅衍射	307	13.3.2 共轴球面系统的放大率	333
12.3.6 圆孔衍射	308	13.3.3 共轴球面系统的基点	333
12.3.7 光的直线传播定律	309	13.3.4 共轴球面系统成像公式的导出	335
12.4 光的干涉	311	13.3.5 基点位置的推算	336
12.4.1 干涉的概念	311	13.4 透镜及其组件	336
12.4.2 干涉与衍射之间的关系	312	13.4.1 薄透镜	336
12.4.3 干涉条件	313	13.4.2 厚透镜	337
12.4.4 双缝干涉	315	13.4.3 透镜组	338
12.4.5 等厚干涉	315	13.4.4 几何作图法	339
12.4.6 等倾干涉	316	13.5 信息处理大意	340
12.4.7 增透射膜和增反射膜	317	13.5.1 阿贝成像原理	340
12.4.8 多层介质膜	318	13.5.2 信息处理大意	340
12.4.9 晶体对 X 射线的衍射(干涉)	319	习题	341
12.4.10 干涉仪	319	第 14 章 辐射与光度	342
12.5 光的偏振	320	14.1 辐射计量学的术语	342
12.5.1 双折射	320	14.1.1 辐射通量	342
12.5.2 二向色性	322	14.1.2 辐出度和单色辐出度	342
12.5.3 椭圆偏振光	322	14.1.3 辐射强度和辐射亮度	343
12.5.4 旋光效应	323	14.1.4 辐照度	343
		14.1.5 吸收率和吸收本领	343
		14.2 辐射定律	343
		14.2.1 黑体和灰体	343

14.2.2 基尔霍夫辐射定律	344	15.6.6 麦克斯韦方程组的四维表述	365
14.2.3 黑体辐射三定律	344	15.6.7 洛伦兹电磁力密度的四维表述	366
14.3 光度学	345	15.6.8 对电学新理论体系的补充说明	366
14.3.1 光通量和面发光度	345	【学术研究】 引力-电磁统一场论 ...	367
14.3.2 光源的发光强度和亮度	345	* 第 16 章 广义相对论新论	374
14.3.3 照度	345	16.1 广义相对论的基本假设	374
14.3.4 光见度函数	345	16.1.1 等效原理	374
14.3.5 发光效率	345	16.1.2 广义相对性原理	375
【学术研究】 光见度函数的导出	346	16.2 引力效应因子	378
第五篇 相 对 论			
第 15 章 狭义相对论	349	16.2.1 本地量和视在量的概念	378
15.1 狭义相对论的实验基础	349	16.2.2 视在量与本地量之间的关系	378
15.1.1 布莱德雷实验	350	16.2.3 引力效应因子的导出	379
15.1.2 菲佐实验	350	16.3 引力场中的四维线元	380
15.1.3 迈克耳孙-莫雷实验	350	16.3.1 球对称引力场中的四维线元	380
15.2 狭义相对论的基本假设	351	16.3.2 四维线元的一般表述	380
15.2.1 相对性原理	351	16.4 行星近日点的进动	382
15.2.2 光速不变原理	351	16.4.1 质点的运动方程	382
【学术研究】 光速不变原理的来源问题	352	16.4.2 行星近日点的进动	382
15.3 因果律与洛伦兹变换	355	16.5 光谱线的红移	384
15.3.1 因果律	355	16.5.1 红移的定义	384
15.3.2 洛伦兹变换	356	16.5.2 多普勒红移	384
15.3.3 速度的变换	359	16.5.3 引力红移	385
15.3.4 对实验的解释	359	16.6 光线在引力场中的偏转	385
15.3.5 因果律对速度的限制	360	16.6.1 引力场的折射率	385
15.4 长度和时间的相对性	360	16.6.2 光线在引力场中的曲率	386
15.4.1 运动尺的收缩	360	16.6.3 光线掠过星球表面时的偏转角	386
15.4.2 运动钟的变慢	361	16.7 黑洞与视在超光速效应	387
15.5 相对论性质点力学	361	16.7.1 黑洞	387
15.5.1 重要的提示	361	16.7.2 视在超光速效应	387
15.5.2 质点运动学的四维表述	362	* 第 17 章 宇宙学	388
15.5.3 质点动力学的四维表述	363	17.1 光度佯谬和引力佯谬	388
15.6 相对论性电动力学	364	17.1.1 光度佯谬	388
15.6.1 四维空间的偏导数算符	364	17.1.2 引力佯谬	389
15.6.2 连续性方程的四维表述	364	17.2 宇宙模型	389
15.6.3 洛伦兹条件的四维表述	365		
15.6.4 洛伦兹方程的四维表述	365		
15.6.5 电磁场张量	365		

17.2.1	有限无界宇宙	389	19.4	薛定谔方程	435
17.2.2	膨胀宇宙	391	19.4.1	本征态和本征值	435
17.2.3	大爆炸宇宙	391	19.4.2	薛定谔方程	436
17.2.4	宇宙背景辐射	393	19.5	粒子在一维势场中的运动	436
【学术研究】岛-洞宇宙模型孕育过程的 回顾			19.5.1	处理一维问题的一般步骤	436
			19.5.2	势垒 隧道效应	437
			19.5.3	谐振子 分子振动能谱	438
第六篇 量子物理			19.6	粒子在球对称势场中的运动	440
第 18 章 早期的量子论			19.6.1	处理球对称问题的一般步骤	440
18.1	黑体辐射与能量子	411	19.6.2	氢原子和类氢离子	441
18.1.1	红外乌云与紫外灾难	411	19.6.3	轨道角动量和磁矩	443
18.1.2	普朗克内插公式	411	19.6.4	简并态	445
18.1.3	普朗克的能量子假设	412	19.6.5	泡利不相容原理	445
* 18.2	普朗克公式和黑体辐射定律的 导出	412	19.6.6	电子自旋	446
18.2.1	普朗克辐射公式的导出	412	19.6.7	碱金属原子	446
18.2.2	黑体辐射定律的导出	414	19.7	微扰法	447
18.3	光电效应与光量子	414	19.7.1	微扰法的基本思想	447
18.3.1	光电效应	414	19.7.2	含时微扰	448
18.3.2	爱因斯坦的光量子	415	19.7.3	跃迁概率	449
18.3.3	康普顿-吴有训效应	416	19.7.4	跃迁选择律	450
18.4	原子光谱与玻尔原子论	417	19.7.5	定态微扰	450
18.4.1	原子光谱	417	【学术研究】量子力学的导出		
18.4.2	玻尔原子论	418	第 20 章 原子与固体		
第 19 章 量子力学基础			20.1 原子物理		
19.1	量子力学的基本假设	421	20.1.1 角动量的合成		
19.1.1	波粒二象性	421	20.1.2 电子组态和原子态的描述		
19.1.2	不确定度关系	422	20.1.3 原子的壳层结构		
19.2	波函数与力学量	424	20.1.4 基态的识别		
19.2.1	波函数及其统计性	424	20.1.5 元素的周期律		
19.2.2	力学量的平均值	425	20.1.6 光学光谱与标识谱		
19.2.3	力学量的算符	426	20.1.7 光谱线的分裂		
19.2.4	动量算符的导出	427	20.2 固体物理简介		
19.2.5	角动量算符的导出	428	20.2.1 能带和禁带		
19.2.6	能量算符的导出	428	20.2.2 绝缘体、半导体和导体		
19.3	不确定度关系式的导出	429	20.2.3 半导体的导电类型		
19.3.1	不确定度关系式的一般形式	429	20.2.4 pn 结		
19.3.2	波包的“不确定度关系式”	430	20.2.5 超导体		
【学术研究】评不确定度原理					

第 21 章 激光	490	I 拉格朗日乘子	513
21.1 激光的产生	490	I.1 全微分条件	513
21.1.1 自发发射和受激发射	490	I.2 拉格朗日乘子	513
21.1.2 激发态的寿命	490	II 概率论	514
21.1.3 粒子数反转	490	II.1 排列与组合	514
21.1.4 三能级系统和四能级系统	491	II.2 高斯函数	515
21.1.5 光学谐振腔	492	II.3 概率积分	515
21.2 激光器	492	II.4 伽马函数	516
21.2.1 气体激光器	492	II.5 斯特林公式	516
21.2.2 固体激光器	495	III 矢量分析	517
21.2.3 其他激光器	495	III.1 标量场和矢量场	517
21.3 激光的用途	496	III.2 标量场的等值面和梯度	517
21.3.1 激光的特点	496	III.3 矢量场的通量和散度	518
21.3.2 激光的应用	496	III.4 高斯定理	519
第 22 章 原子核与粒子	498	III.5 矢量场的环量和旋度	519
22.1 原子核物理简介	498	III.6 斯托克斯定理	520
22.1.1 原子核的成分	498	III.7 无旋场和无散场	521
22.1.2 核力与结合能	499	III.8 格林定理	521
22.1.3 核磁共振	500	IV 狄拉克函数	522
22.1.4 穆斯堡尔效应	501	V 傅里叶分析	523
22.1.5 放射性衰变	502	V.1 傅里叶级数	523
22.1.6 裂变反应	503	V.2 傅里叶积分	524
22.1.7 聚变反应	504	V.3 傅里叶频谱的性质	526
22.2 粒子物理简介	504	V.4 卷积定理	527
22.2.1 粒子及其分类	504	V.5 傅里叶-贝塞尔变换	527
22.2.2 同位旋、超荷和奇异数	506	V.6 光学中常见的特殊函数	529
22.2.3 守恒定律	507	VI 本征函数与母函数	531
22.2.4 对称性	508	VI.1 本征值和本征函数	531
22.2.5 狄拉克方程 反粒子	508	VI.2 母函数	531
22.2.6 守恒律和对称性的局限性	510	VII 量子力学中常见的特殊函数	532
22.2.7 强子结构 夸克	510	VII.1 厄米多项式	532
【学术研究】 评狄拉克的负能态电子海	511	VII.2 拉盖尔多项式	533
		VII.3 勒让德函数	534
附录	513	习题解答	536

绪 论

0.1 物质世界

0.1.1 物质 空间和时间

自然界作为一种客观存在,完全不依赖于人们的主观感觉.然而,人类对自然界的认识总得依靠感觉器官来取得.感觉器官所能感知的一切形体被统称为“物体”;构成物体的各种材料被统称为“物质”;物体周围的貌似没有物质的区域被称为“空间”.

由于感觉器官的功能和灵敏度总是有限的,并非所有的客观存在都能被直接感知,更多的事物是通过各种仪器间接地作用于人体的感觉器官,所以“概念”是随观测手段的改进和认识的深化而不断发展的.如今所说的“物质”已不是专指构成有形物体的材料,看不见、摸不着的空气、引力场、电磁场也都属于“物质”范畴.“貌似没有物质”并不等于说“确实没有物质”.稍后我们将证明:绝对空虚的空间是不存在的,空间是一种特殊形态的物质.

物质状态的变化叫做“运动”.运动过程中出现的各种状态之间存在着因果关系.各种状态按因果次序排列起来所得到的序列被称为“时间”.因果次序不可逆,所以时间的流逝是单向的.

真正能够引起感觉的是运动而非时间.从这个意义上讲,运动是比时间更为基本的概念.离开了运动来谈论时间,那是没有意义的.

0.1.2 物质世界的层次

任何物质都不能不占据空间,所占据的空间可大可小.“量”方面的差异有可能导致“质”的差异,因而物质世界可能存在着不同的层次.这种看法古已有之,但直到 20 世纪

初才被证实.人们把物质世界明确地划分为以物理量的“连续性”为特征的“宏观世界”和以“不连续性”为特征的“微观世界”。“宏”和“微”是“量”方面的差异,“连续”和“不连续”是“质”方面的差异.我们谈论“层次”问题时,应当着眼于“质”.

【插话】除了宏观与微观以外,还有“宇观(cosmological)”.宇观的概念最初是戴文赛教授在 1960 年 12 月同作者的一次谈话里提出的,他说:“宇宙是无限的,因而物质世界的层次也应当是无限的,微观以内有超微观,宏观以外有超宏观.超微观和超宏观也还可以细分,不可穷尽.当然,要提出一个什么观,总得要有一定的根据.但也不能因为暂时还找不到充分的证据就把可能性排除掉.天文观测似乎已能表明大尺度空间与宏观尺度不属于同一个层次,我想把超宏观的一个与宏观最接近的层次称为宇观.建议你们自然辩证法学习班讨论讨论这个问题.”1962 年,他和陆埏教授在《哲学研究》上正式提出了“宇观”的概念.

0.1.3 物质间的相互作用

物质之间存在着相互作用.已知的基本的相互作用有以下四类,即引力作用、电磁作用、强作用和弱作用.引力作用存在于一切物质之间.能够使物质结成常规物块的是电磁作用.原子核里的质子之间有强大的静电斥力,与这种斥力相抗衡的力是强作用.原子核和其他某些粒子的衰变是弱作用参与的过程.如果把强作用的强度规定为 1,那么电磁作用、强弱相互作用、万有引力作用的强度就依次约为 10^{-2} 、 10^{-13} 和 10^{-38} .引力和电磁力都是长程力,强力和弱力都是短程力.

各种相互作用都是通过传递某种粒子来

实现的,这些粒子被统称为“媒介粒子”.强相互作用中所传递的是“胶子”和“介子”,电磁作用、弱相互作用、引力作用三种相互作用中传递的分别是“光子”、“中间玻色子”和“引力子”.引力作用很弱,至今还未获得有关“引力子”的实验证据.

0.1.4 物质不灭原理

物质从何而来?自古以来就有争论.人类有好奇的天性,喜欢追根求源.古人对许多自然现象感到无法理解,于是求助于神.中国有“盘古开天辟地”之说,西方有“上帝创世”之说,都认为万物由神创造.然而,“神”又是由“人”创造的,否则,为什么盘古和上帝不是同一个神?

自然科学的发展,使许多原先不可理解的自然现象得到了合理的解释,有力地冲击了神创论.特别是物理学,它以高精度的实验数据和严密的逻辑推理说明问题.无数的实验表明,能量、动量、角动量、电荷量、重子数等物理量具有守恒性.任何一种物理量都是用来描述物质的某种属性的,都要以“有物质存在”为先决条件,所以可以从各种守恒定律中提炼出这样一条原理:物质可以从一种形态转化为另一种形态,但不能凭空创生,也不能化为虚无.这个结论叫做“物质不灭原理”,它是唯物论哲学的核心.

【插话】 并非所有的人都相信物质不灭原理.按照天主教厄谢尔(Ussher)的说法,物质是上帝在公元前4004年10月23日创造的.20世纪70年代,英国物理学家霍金(Hawking)提出了“宇宙创生于虚无”的见解.中国物理学家吴忠超和方励之也持有这种观点.

1960年10月,作者与自己的老师蔡建华教授进行了一场辩论.蔡说:“物质不灭,物质创生,都只不过是哲学信仰.信仰是靠不住的,真正可靠的是实验和逻辑.你说物质不灭原理是可靠的,你能用逻辑方法证给我看看吗?”当天夜里,作者用概率论估算了物质不

灭原理的置信度.

其实,任何人都不可能没有信仰,不信“物质不生不灭”就意味着相信“物质能生能灭”,二者必居其一.某种信仰是否靠得住,这要看它的来源.物质不灭原理是对能量、动量等物理量的守恒性所作的抽象和概括,而那些守恒定律本身又都是经验定律,这就表明,物质不灭原理的逻辑前提是来源于实验;而所谓抽象和概括,实际上就是用逻辑方法把抽象的“物质”从各种具体的物理量中提炼出来,然后用归纳法把共性(守恒性)归因于“物质不生不灭”.因此,不能说物质不灭原理的来源不符合“实验和逻辑相结合”的科学方法论.

但是,也不能说物质不灭原理绝对可靠,因为实验数据总会有误差,经验定律本身不是绝对可靠的.从逻辑上讲,既然“物质能生能灭”的可能性未被排除,那么把这种可能性当作造成误差的原因之一就是可以的.如果这种可能性在客观上属于“真”,那么相反的可能性就属于“假”.在这种情况下,应当看这两种可能性中哪一种可能性的概率更大些.我们可以把实验数据的相对误差看作是经验定律的“万一不正确”的可能性所具有的概率.如果物质不灭原理是对 n 条守恒定律所作的抽象和概括,第 i 条守恒定律的“万一不正确”的可能性所具有的概率为 p_i ,那么“ n 条守恒定律同时不正确”的可能性所具有的概率就应当是

$$P = \prod_{i=1}^n p_i \quad (0.1.1)$$

从逻辑关系上看,任何物理量的守恒性都要以物质的不生不灭性为必要的前提条件,只要有一个物理量真正具有守恒性,就足以保证物质不灭原理成立.物质不灭原理虽然要由物理量的守恒性来显示,但不是以物理量的守恒性为必要条件,即使所有的物理量都不具有守恒性,也不能以此来证明物质能生能灭.因此,物质能生能灭的可能性所具有的概率 P_1 应当小于 P ,至多等于 P ,即