

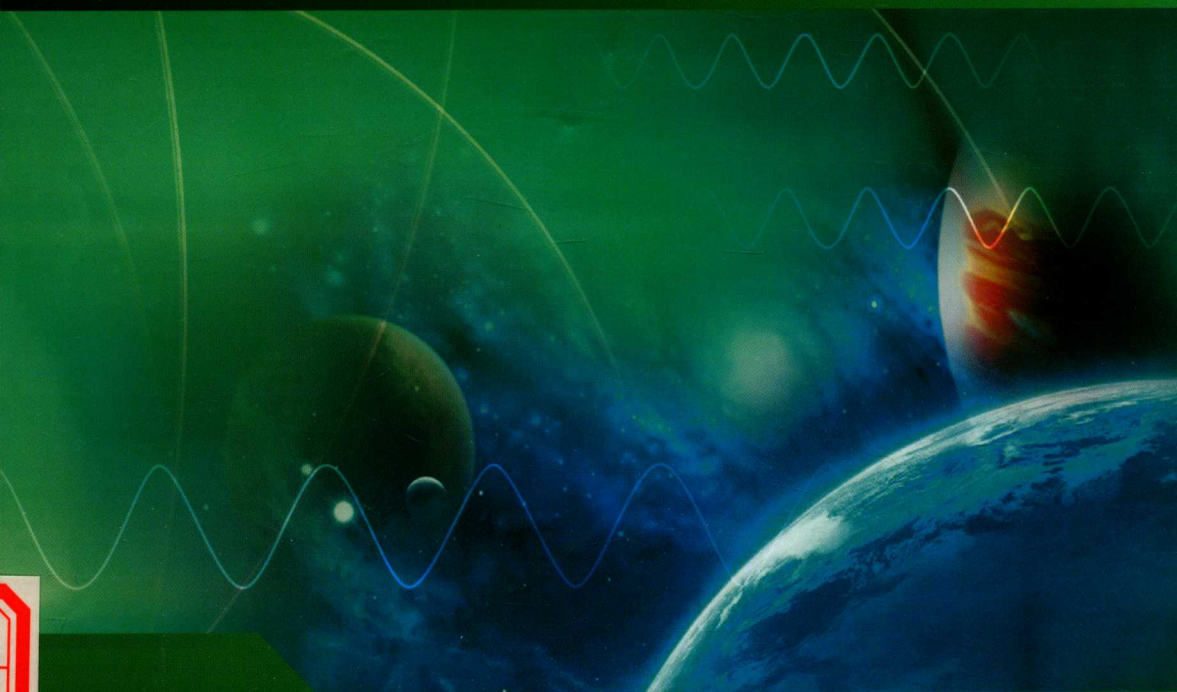


普通高等教育“十三五”规划教材

# 大学基础物理学

(第二版)

胡玉才 汪静 主编



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 大学基础物理学

(第二版)

主 编 胡玉才 汪 静

副主编 姜永超 涂海华 周 丹

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是根据高等农林院校基础物理课的教学基本要求,结合编者多年教学实践经验和教学研究成果编写的.全书共11章,分别为:物质与物体运动,振动和波,生物流体力学基础,热物理学基础,电场及其生物效应,磁场与生物磁现象,电磁场及其与生物体的相互作用,波动光学,波粒二象性,原子的量子理论,电离辐射生物效应.在每章末选编了现代物理学发展的新成果和物理学在相关领域的应用技术,以培养学生理论联系实际、开拓创新的科学素质.另外,本书还配有电子教案及智能化作业系统供老师及学生免费使用.

本书可作为农林水、生物与海洋科学、食品与环境科学等本科专业72学时以内的大学物理课程教材,也可作为其他专业的参考资料.

### 图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理学/胡玉才,汪静主编.—2版.—北京:科学出版社,2017.1  
普通高等教育“十三五”规划教材  
ISBN 978-7-03-051616-9

I. ①大… II. ①胡…②汪… 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(2017)第006736号

责任编辑:王胡权/责任校对:彭 涛  
责任印制:白 洋/封面设计:迷底书装

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>

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011年8月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017年1月第 二 版 印张:22 1/4

2017年1月第一次印刷 字数:449 000

定价:36.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

物理学是研究物质的结构、相互作用、运动规律及实际应用的科学。物理学的研究对象十分广泛,从微观、介观到宏观、宇观,物理学把人类对自然界的认识推进到了前所未有的深度和广度。在物理学研究过程中形成和发展起来的基本概念、基本理论、基本实验手段和精密测量方法,不断促进诸如天文学、化学、生物学、地学、医学、农业科学和计量学等学科的发展。物理学还与其他学科相互渗透,产生了一系列交叉学科,如化学物理、生物物理、大气物理、海洋物理、地球物理、天体物理等。很多技术的诞生也是以物理学的发展为基础的。原子能的研究和应用、激光技术的出现、半导体材料的发现以及电子计算机的飞速发展都是以 20 世纪物理学中的两个伟大发现——相对论和量子理论为基础的。

物理学是一门以实验为基础的自然科学,它是发展最成熟、高度量化的精密科学,又是具有方法论性质、被人们公认为最重要的基础科学。物理学取得的成果极大地丰富了人们对物质世界的认识,有力地促进了人类文明的进步。正如国际纯粹物理和应用物理联合会第 23 届代表大会的决议《物理学对社会的重要性》所指出的,物理学是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键性的作用:探索自然,驱动技术,改善生活,培养人才。因此,向各专业的大学生介绍现代物理基础知识,特别是物理学思想方法、物理学前沿及物理学在工程技术中的应用,将有利于他们开阔眼界、活跃思维、启迪心智,使学生的创新精神等科学素养得到大幅度提高。

编者结合多年从事农、林、水产院校的大学物理教学实践与研究成果,在吸取众多优秀教材优点的基础上编写了本书。在编写过程中力求做到概念准确,叙述清晰,可读性强;在传授物理基础知识的同时,注重近代物理学内容的介绍。本书具有以下几个特点:

- (1) 物理学系统完整,基本规律精炼;压缩经典内容,增加现代物理知识应用;
- (2) 力图把物理学与生命科学之间的联系反映出来,介绍了各种物理环境因子的生物学效应;
- (3) 取材适当,选题典型,基本概念清晰,物理图像鲜明;
- (4) 编入了一些具有启发性和学科交叉的物理科技知识,以便在教学过程中培养

学生的创新意识和知识应用能力；

(5)提供配套智能化作业系统支撑,首次实现了大学物理课程包括计算题在内的全部作业都能够通过网络智能化作业系统来完成。

本书由大连海洋大学、青岛农业大学、江西农业大学的教师共同改编,其中汪静编写第1、2章;胡玉才编写第3~5章;姜永超编写第6、7章;周丹编写第8章;涂海华编写第9~11章。为了突出本教材的易教易学性,大连海洋大学负责提供配套电子教案(编制人:白亚乡、梅妍)、建设教学微课资源(曲冰负责力学部分、吕科负责热学部分、唐德龙负责电磁学部分、杨桂娟负责光学部分、梅妍负责原子与量子物理部分),并提供智能化作业系统支撑(负责人:周纯玉、周丹)。

限于编者水平,书中疏漏与不足之处在所难免,希望使用本书的教师、学生和其他读者批评指正。

编 者

2016年9月

# 目 录

## 前言

第 1 章 物质与物体运动 .....	1
1.1 物质与物质形态 .....	2
1.1.1 物质存在的基本形式 .....	2
1.1.2 物质形态 .....	2
1.2 质点力学的基本概念和基本定律 .....	4
1.2.1 质点运动的描述 .....	4
1.2.2 动量守恒定律 .....	8
1.2.3 角动量守恒定律 .....	10
1.2.4 机械能守恒定律 .....	11
本章小结 .....	13
思考题 .....	14
习题 1 .....	14
【物理科技】 I 等离子体技术 .....	15
II 纳米科学技术 .....	18
第 2 章 振动和波 .....	22
2.1 简谐振动 .....	23
2.1.1 描述简谐振动的特征量 .....	23
2.1.2 简谐振动的速度和加速度 .....	23
2.1.3 旋转矢量与振动的相位 .....	24
2.1.4 简谐振动的能量 .....	27
2.1.5 阻尼振动、受迫振动和共振 .....	28
2.2 简谐振动的合成 .....	30
2.2.1 同方向同频率的简谐振动的合成 .....	30
2.2.2 互相垂直的简谐振动的合成 .....	31
2.3 波的描述 .....	32
2.3.1 机械波的传播 .....	32

2.3.2 简谐波的波函数 .....	34
2.4 波的衍射和干涉 .....	37
2.4.1 惠更斯原理 .....	37
2.4.2 波的衍射 .....	37
2.4.3 波的干涉 .....	38
2.5 声波及超声波的生物效应 .....	41
2.5.1 声波 .....	41
2.5.2 超声波及其生物效应 .....	42
本章小结 .....	43
思考题 .....	44
习题 2(A) .....	45
习题 2(B) .....	46
【物理科技】 超声技术 .....	46
<b>第 3 章 生物流体力学基础</b> .....	<b>52</b>
3.1 流体静力学 .....	53
3.1.1 静止流体内的压强 .....	53
3.1.2 帕斯卡原理 .....	55
3.1.3 阿基米德原理 .....	56
3.2 液体表面性质 .....	57
3.2.1 液体的表面现象 .....	57
3.2.2 表面张力及表面张力系数 .....	57
3.2.3 球形液滴内外的压强差 .....	58
3.2.4 毛细现象 .....	59
3.3 液体的流动 .....	61
3.3.1 理想流体的概念 .....	61
3.3.2 定常流动、流线和流管 .....	62
3.3.3 连续性原理 .....	62
3.4 伯努利方程及应用 .....	63
3.4.1 方程的推导 .....	63
3.4.2 方程的应用举例 .....	64
3.5 黏滞流体的流动 .....	67
3.5.1 实际流体的黏滞性 .....	67
3.5.2 泊肃叶公式 .....	69
3.5.3 斯托克斯公式 .....	71

本章小结 .....	73
思考题 .....	73
习题 3(A) .....	74
习题 3(B) .....	74
【物理科技】 液晶与液晶生物膜 .....	75
力学部分综合习题 .....	82
<b>第 4 章 热物理学基础</b> .....	84
4.1 理想气体动理论的基本公式 .....	85
4.1.1 理想气体状态方程 .....	85
4.1.2 气体动理论的压强公式 .....	87
4.1.3 理想气体的温度公式 .....	90
4.2 能量均分定理 .....	91
4.2.1 自由度 .....	91
4.2.2 能量按自由度均分定理 .....	92
4.2.3 理想气体的内能 .....	93
4.3 气体分子按速率分布律和按能量分布律 .....	93
4.3.1 麦克斯韦速率分布律 .....	93
4.3.2 玻耳兹曼分布律 .....	97
4.4 热力学第一定律 .....	99
4.4.1 热力学的基本概念 .....	99
4.4.2 热力学第一定律 .....	101
4.5 气体的摩尔热容 焓 .....	102
4.5.1 气体的摩尔热容 .....	102
4.5.2 化学反应热与焓 .....	105
4.6 热力学第一定律对理想气体的应用 .....	106
4.6.1 等温过程 .....	106
4.6.2 理想气体的绝热过程 .....	108
4.7 循环过程 .....	110
4.7.1 正循环 .....	110
4.7.2 卡诺循环 .....	112
4.7.3 致冷循环 .....	113
4.8 热力学第二定律 .....	114
4.8.1 可逆过程与不可逆过程 .....	114
4.8.2 热力学第二定律的表述 .....	115

4.8.3	热力学第二定律的统计意义	116
4.9	熵及熵增加原理	118
4.9.1	玻耳兹曼熵公式 熵增加原理	118
4.9.2	克劳修斯熵公式	119
4.10	自由能和自由焓	123
4.10.1	自由能	123
4.10.2	自由焓	124
4.11	气体内的输运过程	125
4.11.1	平均自由程与碰撞频率	125
4.11.2	气体内的输运过程	127
	本章小结	131
	思考题	133
	习题 4(A)	134
	习题 4(B)	135
	习题 4(C)	136
	【物理科技】 新能源技术	137
	热学部分综合习题	141
<b>第 5 章</b>	<b>电场及其生物效应</b>	<b>143</b>
5.1	电荷与电场	144
5.1.1	电荷及其相互作用	144
5.1.2	电场及电场强度	145
5.2	高斯定理	149
5.2.1	电场线	149
5.2.2	电场强度通量	150
5.2.3	高斯定理	151
5.2.4	高斯定理应用举例	152
5.3	电势	155
5.3.1	电场力的功	155
5.3.2	电势能和电势	156
5.3.3	电势叠加原理	157
5.3.4	场强与电势的关系	158
5.4	电场中的导体和电介质	160
5.4.1	静电场中的导体	160
5.4.2	静电场中的电介质	162

5.5 生物电现象 .....	167
5.5.1 生物电的产生 .....	167
5.5.2 跨膜电势产生的离子学说 .....	168
5.6 电场生物效应 .....	173
5.6.1 电场生物效应实验研究结果 .....	173
5.6.2 电场生物效应的宏观特点 .....	175
5.6.3 电场生物效应机理探讨 .....	176
5.7 静电技术在农业工程中的应用 .....	177
5.7.1 静电分级技术 .....	177
5.7.2 静电喷洒技术 .....	178
5.7.3 农产品加工技术 .....	178
本章小结 .....	178
思考题 .....	179
习题 5(A) .....	179
习题 5(B) .....	180
【物理科技】 I 超导技术 .....	181
II 电泳技术 .....	184
<b>第 6 章 磁场与生物磁现象</b> .....	189
6.1 磁场及其描述 .....	190
6.1.1 磁场 .....	190
6.1.2 磁感应强度 .....	190
6.1.3 磁感应线 .....	191
6.2 毕奥-萨伐尔定律 .....	192
6.2.1 毕奥-萨伐尔定律的内容 .....	192
6.2.2 毕奥-萨伐尔定律应用举例 .....	193
6.3 磁场的高斯定理和安培环路定理 .....	195
6.3.1 磁场的高斯定理 .....	195
6.3.2 磁场的安培环路定理 .....	196
6.4 电流与磁场的相互作用 .....	199
6.4.1 磁场对载流导线的作用 .....	199
6.4.2 磁场对载流线圈的作用 .....	200
6.4.3 磁场对运动电荷的作用 .....	201
6.4.4 霍尔效应 .....	203
6.5 物质的磁性 .....	204

6.5.1	相对磁导率	204
6.5.2	磁介质的磁化	204
6.6	生物磁场	206
6.6.1	生物体磁性与环境	206
6.6.2	人体的磁场	207
6.7	磁致生物效应	209
6.7.1	磁场生物效应的宏观特点	209
6.7.2	磁场生物效应应用	211
6.7.3	磁场生物效应的微观机理	212
	本章小结	213
	思考题	214
	习题 6(A)	214
	习题 6(B)	215
	【物理科技】 核磁共振	216
<b>第 7 章</b>	<b>电磁场及其与生物体的相互作用</b>	<b>219</b>
7.1	电磁场的基本规律	220
7.1.1	法拉第电磁感应定律	220
7.1.2	麦克斯韦的两个假说	220
7.1.3	麦克斯韦方程组	221
7.2	电磁波	222
7.2.1	电磁波的辐射和传播	222
7.2.2	电磁波谱	224
7.3	微波的生物效应	225
7.3.1	微波生物效应现象	225
7.3.2	热效应和非热效应的基本特点	226
7.3.3	非热生物效应的一些机理问题讨论	226
7.4	红外技术	227
7.4.1	红外辐射	227
7.4.2	热辐射规律	228
7.4.3	红外技术应用	229
7.5	X 射线及其应用	230
7.5.1	X 射线的产生	230
7.5.2	X 射线的特点	230
7.5.3	X 射线的应用	231

本章小结 .....	233
思考题 .....	233
习题 7 .....	234
【物理科技】 遥感技术 .....	235
电磁学部分综合习题 .....	239
<b>第 8 章 波动光学</b> .....	243
8.1 光源及光的颜色生物效应 .....	244
8.1.1 光源 .....	244
8.1.2 单色光与复色光 .....	244
8.1.3 光环境的生态影响 .....	245
8.1.4 人工光源及其生物效应 .....	245
8.2 光的干涉 .....	248
8.2.1 相干光源 .....	248
8.2.2 杨氏双缝干涉 .....	249
8.2.3 薄膜干涉 .....	251
8.3 光的衍射 .....	255
8.3.1 光的衍射现象 .....	255
8.3.2 单缝夫琅禾费衍射 .....	255
8.3.3 光栅衍射 .....	257
8.3.4 光学仪器分辨本领 .....	259
8.4 光的偏振 .....	260
8.4.1 光的偏振态 .....	260
8.4.2 偏振光的获得 .....	262
8.4.3 马吕斯定律 .....	264
8.4.4 旋光现象 .....	264
8.5 光和视觉 .....	266
8.5.1 人眼的结构 .....	266
8.5.2 视杆细胞和视锥细胞 .....	267
8.5.3 视觉灵敏度 .....	268
8.5.4 色觉 .....	269
8.6 光学仪器 .....	271
8.6.1 望远镜 .....	271
8.6.2 光学显微镜 .....	272
8.6.3 分光光度计 .....	272

本章小结 .....	273
思考题 .....	274
习题 8(A) .....	275
习题 8(B) .....	275
习题 8(C) .....	276
【物理科技】 I 激光技术 .....	277
II 光谱技术 .....	282
光学部分综合习题 .....	285
<b>第 9 章 波粒二象性</b> .....	287
9.1 光电效应 .....	288
9.2 光子与光的二象性 .....	289
9.3 光合作用 .....	291
9.4 粒子的波动性 .....	293
本章小结 .....	294
思考题 .....	295
习题 9 .....	295
【物理科技】 同步辐射技术 .....	296
<b>第 10 章 原子的量子理论</b> .....	302
10.1 量子力学概述 .....	303
10.1.1 概率波 .....	303
10.1.2 测不准原理 .....	303
10.1.3 薛定谔方程 .....	305
10.2 氢原子 .....	308
10.2.1 玻尔的氢原子理论 .....	308
10.2.2 氢原子的量子理论 .....	309
10.3 氢原子光谱 .....	311
10.4 电子自旋 .....	312
10.5 元素周期表 .....	313
10.5.1 泡利不相容原理 .....	313
10.5.2 能量最小原理 .....	314
10.6 生命物质的光谱 .....	315
10.6.1 原子光谱 .....	315
10.6.2 分子光谱 .....	316
本章小结 .....	319

思考题 .....	319
习题 10 .....	319
【物理科技】 扫描隧道显微镜 .....	320
<b>第 11 章 电离辐射生物效应</b> .....	324
11.1 电离辐射的基本概念 .....	325
11.1.1 电离辐射的种类 .....	325
11.1.2 电离辐射的量和单位 .....	326
11.2 电离辐射与物质的相互作用 .....	328
11.2.1 X 射线和 $\gamma$ 射线与物质的相互作用 .....	328
11.2.2 带电粒子与物质的相互作用 .....	328
11.2.3 中子与物质的相互作用 .....	329
11.3 水的电离辐射 .....	329
11.3.1 水的辐射分解与水自由基 .....	329
11.3.2 水自由基的特性及其在细胞中的行为 .....	330
11.3.3 水自由基与生物分子的主要反应 .....	331
11.4 电离辐射的生物效应 .....	332
11.4.1 电离辐射的分子效应 .....	332
11.4.2 电离辐射的细胞效应 .....	333
11.5 低水平辐射的兴奋效应 .....	334
11.5.1 低水平辐射刺激基本生命活动 .....	335
11.5.2 低水平辐射诱导细胞遗传学适应性反应 .....	336
11.5.3 低水平辐射增强免疫功能 .....	336
思考题 .....	338
近代物理部分综合习题 .....	339
参考文献 .....	340

# 第 1 章

## 物质与物体运动

在自然科学中,宇宙万物的存在形式分为两类:物质和能量。物质是万物的存在形式,能量是物质相互作用与转化的量度,物质与能量是相互依存的。物理学就是研究自然界物质存在的基本形式、物质的性质、物质的运动规律、物质之间相互作用与转化、各种物质形态内部结构等基本规律的学科。

在自然界中,没有不运动的物质,也没有脱离物质的运动。运动是物质的固有属性。运动的形式是多种多样的,物理学研究的物质运动形式是自然界最基本和最普遍的,它的基本研究方法和内容渗透在社会学和自然科学所涉及的一切领域,应用于科学研究和生产技术的各个方面。

本章简要讨论物质形态及质点力学的基本概念和基本定律。

### 本章基本要求:

1. 理解物质与场的概念。
2. 了解物质形态。
3. 理解动量守恒定律、机械能守恒定律;了解角动量守恒定律。

## 1.1 物质与物质形态

### 1.1.1 物质存在的基本形式

物质存在的基本形式是实物和场. 实物不仅是指由大量原子、分子所组成的宏观实体, 也包括原子、分子、离子和静止质量不为零的基本粒子(如电子、质子、中子、夸克等). 实物是实实在在占据于自然界的一定空间, 并以一定的方式存在于时段的. 场是物质存在的另一种形式, 虽然它看不见摸不着, 但具有力和能量等物理特性, 是传递物体间相互作用的介质. 每一种实物都会在自己周围激发与之相应的场, 如静止电荷激发静电场, 运动电荷除激发电场外还激发磁场, 一定质量的实物激发引力场. 实物粒子之间的相互作用是由场来传递的, 例如传递引力的介质为引力场, 传递电磁相互作用的介质为电磁场等等. 场对处于其中的物质产生力的作用, 并具有做功的特性. 不同的场在空间可同时存在, 具有叠加性. 场没有确定的空间界限, 连续不断地弥漫在一定的空间中.

### 1.1.2 物质形态

物态是指实物在一定条件下所处的相对稳定的状态, 它表现为大量实物粒子作为一个大的整体而存在的集聚状态. 固态、液态和气态是我们熟悉的物态. 20 世纪中期, 科学家确认物质第四态, 即“等离子体态”. 1995 年, 美国标准技术研究院和美国科罗拉多大学的科学家组成的联合研究小组, 首次创造出物质的第五态, 即“玻色-爱因斯坦凝聚态”. 随着科学的发展, 在某些特定条件下发现了一些超态(如超高压下的超固态、中子态和超低温下的超导态、超流态等).

#### 1. 固体

固体中分子的热运动占次要地位, 组成物质的粒子(分子、原子或离子)在各自的平衡位置做微弱的热运动, 所以固体具有一定的形状和体积. 人们常将固体分为晶体(如食盐、云母、金刚石等)和非晶体(玻璃、沥青、塑料等)两大类. 从外观上看, 晶体具有规则的几何形状, 在晶体内的粒子是按一定规则周期性重复排列的. 而非晶体内的粒子排列却是完全不规则的. 实际上, 在晶体与非晶体之间还存在一种准晶体. 1984 年底, 美国科学家薛切特曼(D. Shechtman)等宣布, 他们在急冷凝固的 Al-Mn 合金中发现了具有五重旋转对称但并无平移周期性的合金相, 在晶体学及相关的学术界引起了很大的震动. 不久, 这种无平移周期性但有位置序的晶体就被称为准晶体. 准晶体最明显的特征是存在长程有序性而无周期性. 准晶体已被开发为有用的材料. 例如, 人们发现由铝、铜、铁、铬组成的准晶体具有低摩擦系数、高硬度、低表面能以及低

传热性,被开发为炒菜锅的镀层。

## 2. 液体和气体

液体和气体都具有流动性,故统称为流体。流体是一种连续介质,在其运动过程中将会表现出特定的规律和性质。液体中分子热运动动能和分子间引力相互作用势能相当,分子有较大的活动余地,分子间作用力能够建立起暂时稳定的局部结构。尽管液体内的分子力较固体有所减弱,但还是大到足以使液体有一个自由表面而且有一定体积。液体具有流动性,形状随容器形状而改变。气体中分子热运动远大于分子间的相互作用,分子处于完全无序状态,所以没有固定的形状和体积。在没有电磁场、重力场等外界作用时,气体分子向空间任意方向运动概率相等,自动形成空间稳定均匀的平衡状态。

## 3. 等离子体

等离子体是由部分电子被剥夺后的原子及原子被电离后产生的正负电子组成的离子化气体状物质,它是除去固、液、气态外,物质存在的第四态。相关内容将在本章物理科技中进行详细介绍。

## 4. 玻色-爱因斯坦凝聚态

玻色-爱因斯坦凝聚是20世纪20年代玻色和阿尔伯特·爱因斯坦在玻色的关于光子的统计力学研究基础上预言的一种新物态。这里的“凝聚”与日常生活中的凝聚不同,它表示原来不同状态的原子突然“凝聚”到同一状态(一般是基态),即处于不同状态的原子“凝聚”到了同一种状态。

在正常温度下,原子可以处于任何一个能级(能级是指原子的能量像台阶一样从低到高排列),但在非常低的温度下,大部分原子会突然跌落到最低的能级上,就好像一座突然坍塌的大楼一样。处于这种状态的大量原子的行为像一个大超级原子。打个比方,练兵场上散乱的士兵突然接到指挥官的命令“向前齐步走”,于是他们迅速集合起来,像一个士兵一样整齐地向前走去。后来物理界将物质的这一状态称为玻色-爱因斯坦凝聚态(BEC)。

然而,实现玻爱凝聚态的条件极为苛刻和矛盾:一方面需要达到极低的温度,另一方面还需要原子体系处于气态。极低温下的物质如何能保持气态呢?物理学家使用稀薄的金属原子气体,金属原子气体有一个很好的特性:不会因制冷出现液态,更不会高度聚集形成常规的固体。实验对象找到了,下一步就是创造出可以冷却到足够低温度的条件。由于激光冷却技术的发展,人们可以制造出与绝对零度仅仅相差 $10^{-9}$  K的低温。并且利用电磁操纵的磁阱技术可以对任意金属物体实行无触移动。这样的实验系统经过不断改进,终于在玻色-爱因斯坦凝聚理论提出71年之后的1995年6月,两名美国