



普通高等教育“十五”国家级规划教材

$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + V\psi = i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t}$

Calculus-Computer-Based Physics

大学物理学

李元杰 陆果



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

大学物理学

(Calculus – Computer – Based Physics)

李元杰 陆果



高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,全书包括文字版教材和教学资源光盘两部分,并与“新世纪网络课程建设工程”的成果《大学物理网络课程》相配套.全书无论从内容到形式,还是从技术到结构,都给人耳目一新的感觉,充满现代化与信息化的气息,充分体现了现代教育科学的思维理念.本书对传统基础知识作了精简与提升,对现代基础知识作了补充与加强,现代物理在整个教材中的比重达到40%.本书还较全面地使用现代教育技术,配有若干 java 学件、flash 动画、C 语言学件和 avi 视频流等丰富的教学资源,供师生选用.

本书可作为高等院校理工科非物理类专业大学物理课程的教材或参考书,也可供其他专业和社会读者选用.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学/李元杰,陆果. —北京:高等教育出版社,2003.7(2004重印)

ISBN 7-04-011847-5

I.大... II.①李...②陆... III.物理学-高等学校-教材 IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 022291 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
排 版 高等教育出版社照排中心
印 刷 中国农业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 26
字 数 630 000

版 次 2003年7月第1版
印 次 2004年2月第2次印刷
定 价 35.10元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换.

版权所有 侵权必究

前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,主要作为高等院校理工科非物理类专业本科生使用的基础物理教材,它包括文字版教材和配套的教学资源光盘两个部分。全书无论从内容到形式,还是从技术到结构都有令人耳目一新的感觉,充满现代化与信息化的气息,充分体现了现代教育科学的思维理念。如何落实授之以渔,如何培养自主学习与创新思维等在本课程的教学上都有具体的设计。

本书共有三篇十五章约 60 万字,完成课时 110~130,它的主要特色和创新教学内容具体概括为以下几点:

1) 对传统基础知识作了精简与提升(如:力学、电磁学、光学),对现代基础知识作了补充与加强(如:量子论、非线性现象),现代物理在整个教材中的比重达到 40%。

2) 把传授知识、方法、思想放在同等重要的地位,以方法带动知识点的学习,以方法提高学生处理实际问题的能力;用思想加深对知识点的理解,用思想去把握知识的整体结构;最后通过思想方法的教学达到对学生逻辑思维的培养与训练。在教材内容的编排中,设计了传授知识、思想、方法三者交叉的模式:在讲知识的过程中传授思想或方法(如质点动力学、刚体力学),在讲方法的过程中传授知识或思想(如光的相干叠加),在讲思想的过程中传授知识或方法(如哈密顿原理、电磁学)等,改变了单一传授知识的模式。

3) 较全面地使用现代教育技术,配有 java 学件 150 例、flash 动画 120 例、C 语言学件 200 例及若干 avi 视频流等丰富的教学资源,把数学工具引入基础物理教材是本书最突出的特点。它提供了丰富的教学资源,有利于发展学生自主式和研究式学习的模式,有利于创新教育与素质教育的贯彻实施。

4) 设计了大量的典型物理模型,如:力学中的小船过河模型、追踪模型、弹簧连接体模型、耦合振子模型及各种势模型;电磁学中的方线圈的磁场模型、多棒切割磁场模型、偶极辐射能流分布模型;量子论中的复数波函数模型、一维方势阱能谱分布模型、量子退相干模型、薛定谔猫模型;非线性中的约克-李天岩道路模型、杜芬模型、混沌通讯保密模型等共百余个。

5) 充分发挥了解析与数值计算两套数学工具、两种分析处理方法的优点,把科学计算作为基础物理教学的基本教学任务之一,充分展现了数字化技术在教学中的重要作用。

编委会的成员有:李元杰、陆果、孙威娜、杨晓雪、商育明、周泽兵。曾参加本教材讨论、试用的还有中国地质大学谭季麓,武汉理工大学邓伟明、汪晓元,武汉大学李长真、汤征,湖北襄樊学院张增常,湖北汽车工业学院罗学军,武汉江汉大学张祖全等,在此,作者对他们致以衷心的感谢!作者还要感谢高等教育出版社的杨再石和胡凯飞等,他们对本书的出版给予了热情的支持并付出了艰辛而优质的劳动。

李元杰 陆果

2003 年 2 月

序

20世纪90年代以来,基础物理课程的教学改革出现两个重点方向,一个是以现代化为中心的教学内容的改革,一个是以计算机物理教学环境的建设为中心的教学手段和教学方法的改革。然而,就后者来看,多数的成果仍然是比较初步的,往往疏于用计算机技术贯穿于整个基础物理学的系统教学。特别是,在教学相长,教学互动,充分调动学生主动性、创造性,形成新的教学能力等方面还有待深入开发。

近几年来,华中科技大学李元杰教授在这方面进行了有益的探索,他在课程内容现代化的基础上,把现代计算技术(即计算机数值计算和模拟技术)系统地引入基础物理教学中,在典型模型与势模型的教学上取得了引人注目的突破,使传统的物理教学发生了深刻的变化。初步的实践表明,这一改革对于激发学生学习的主动性和创造性,培养学生的创新意识和实际工作能力有明显的效果,可以帮助学生从被动的知识接纳者转变为主动的知识探求者。

李元杰教授和北京大学陆果教授合作编著的《大学物理学》,无论是从内容到形式,还是从技术到结构,都有令人耳目一新的感觉,充满现代化与信息化的气息。全书共有三篇十五章约60万字,十分精练,其主要特色可概括为以下几点:

1) 对传统的物理基础知识(力学、电磁学和光学)作了精简与提升,对现代物理的基础知识作了补充与加强(量子论和非线性现象)。

2) 把现代计算技术系统、全面地引入了基础物理教材,充分发挥了解析与数值计算两套数学工具、两种分析处理方法的优势,为教学内容的现代化创造了良好的条件。

3) 该书设计了大量的典型物理模型,配有Java学件150例、Flash动画120例、C语言学件200例及若干视频流等丰富的教学资源、有利于学生自主和研究式地学习。

4) 在教材内容的编排中,把传授知识、方法和思想很好地结合了起来。

我希望,《大学物理学》的出版将推动基础物理课程改革的深入展开,为培养面向未来的、富有创造精神的人才贡献力量。

北京大学物理学院

赵凯华

2003年3月20日

目 录

绪论	1
§ 0-1 物理学研究的对象	1
一、什么是物理学	1
二、物理学的划分	2
§ 0-2 物理量的测量和单位制	3
§ 0-3 物理世界的层次和数量级	3

第一篇 力学与相对论

第 1 章 质点运动学	7
§ 1-1 质点运动的描述	7
一、质点 坐标系和参考系	7
二、质点运动的矢量描述	8
三、常用的几种坐标	11
四、运动学的基本问题	14
五、运动的合成和分解	15
§ 1-2 相对运动	17
一、相互作用平动的两个参考系	17
二、相互作用转动的两个参考系	18
习题	19
第 2 章 质点动力学	23
§ 2-1 牛顿运动定律	24
一、牛顿定律的表述、相互关系及适用范围	24
二、研究物理量的基本方法	24
§ 2-2 牛顿定律的应用	27
一、惯性质量、动量与惯性力	27
二、伽利略变换和伽利略相对性原理	30
三、力对时间的积累——力的冲量和动量定理	30
四、力对空间的积累——力的功和动能定理	32
五、保守力与势能关系、机械能守恒定律及势能曲线	35
§ 2-3 对称性和守恒律的应用	38
一、碰撞问题	38
二、各种碰撞举例	40
三、哈密顿原理、对称性和稳定性	42
§ 2-4 综合训练	45

习题	47
第3章 刚体力学	53
§3-1 刚体模型	53
一、刚体的受力特征	53
二、刚体的运动特征	54
三、刚体的质心	54
四、刚体绕定轴转动	55
五、转动惯量及计算	56
§3-2 角运动与线运动的对称性	58
一、刚体的功和能	58
二、角动量守恒	60
三、刚体的平面平行运动	61
四、回转仪	62
习题	65
第4章 振动和波	67
§4-1 简谐振动	67
一、简谐振动的定义	68
二、简谐振动的描述方法	68
三、简谐振动的合成	69
§4-2 自由振动、阻尼振动和强迫振动	71
一、振动方程的求解	71
二、研究实例	73
§4-3 机械波的基本概念、简谐波	75
一、沿直线传播的简谐波	76
二、平面和球面简谐波	76
§4-4 简谐波的波动方程	77
一、运动学方法	77
二、动力学方法	77
三、冲击波	78
§4-5 叠加原理和驻波	80
一、叠加原理	80
二、驻波	81
习题	84
第5章 相对论	89
§5-1 狭义相对论的基本假设	90
一、相对性原理	90
二、光速不变原理	91
§5-2 时空观与时空几何	92
一、牛顿的时空观	92
二、狭义相对论的时空观	93

三、世界图和世界线	95
§ 5-3 相对论效应	96
一、闵可夫斯基时空中的校准双曲线	97
二、同时性的相对性	98
三、时间延缓与长度收缩	98
四、速度变换	100
五、双生子佯谬	100
§ 5-4 洛伦兹不变性与相对论力学	102
一、光速的作用	102
二、相对论力学	103
三、相对论的应用	105
四、洛伦兹变换下的不变性	105
§ 5-5 广义相对论	106
一、黎曼几何	106
二、等效原理和广义相对性原理	107
三、弯曲时空中的瞬时惯性系	108
习题	108

第二篇 电磁学与量子论

第 6 章 静电场	113
§ 6-1 矢量场	113
一、流量、通量与总场线根数	114
二、环量	114
§ 6-2 高斯定理	115
一、电荷	115
二、库仑定律	116
三、叠加原理	117
四、电场强度及其叠加	117
五、电位移、 E 通量和高斯定理	119
§ 6-3 电势	123
一、电场力的功和电势	123
二、电场强度与电势的关系	125
三、泊松方程和拉普拉斯方程	125
四、电场线和等势线	125
§ 6-4 导体与电介质	127
一、静电场中的导体	127
二、电场中的电介质	129
三、电容和电容器	133
四、电场的能量	134
习题	136
第 7 章 电流与磁场	143

§ 7-1	电 流	143
	一、电流与电流强度	143
	二、电流密度	144
	三、电流连续性方程	144
	四、欧姆定律	145
	五、电流的功、焦耳定律	146
§ 7-2	电流的磁场	147
	一、电流元和电流的磁矩	148
	二、毕奥-萨伐尔定律	148
	三、磁感应强度 B	149
§ 7-3	磁场及磁场力的计算	151
	一、无限长载流直导线的磁场	151
	二、环形电流中心轴线上的磁场	151
	三、均匀磁场中载流导线所受的力	152
	四、磁场对运动电荷的作用力	152
§ 7-4	磁场强度、安培环路定律	154
	一、安培环路定律	155
	二、安培环路定律的应用	155
§ 7-5	磁介质、介质中的磁场	156
	一、磁介质	156
	二、磁化强度矢量	158
	三、磁感应强度、磁场强度、磁化强度之间的关系	158
	四、铁磁质	159
	习题	163
第 8 章	麦克斯韦方程组与电磁场	167
§ 8-1	电磁感应	167
	一、电磁感应定律	167
	二、动生电动势和感生电动势	169
	三、自感与互感	172
	四、磁场的能量	173
§ 8-2	麦克斯韦方程组	176
	一、两个假设:涡旋电场和位移电流	176
	二、麦克斯韦方程组	178
§ 8-3	电磁波与电磁辐射	180
	一、自由电磁波	180
	二、电偶极子的辐射	180
	三、电磁场的能量	181
	四、电磁场的动量	182
	习题	184
第 9 章	光的波动性	189
§ 9-1	光波的叠加	189

一、惠更斯-菲涅耳原理	189
二、光程差法	190
三、半波带法	191
四、矢量法	192
五、积分法	194
§ 9-2 光的偏振	197
一、偏振光与自然光	197
二、椭圆偏振光与旋光性	199
§ 9-3 应用举例	201
一、光弹效应	201
二、电光效应	201
三、磁致旋光	203
习题	204
第 10 章 波函数与薛定谔方程	209
§ 10-1 场与粒子的二象性	210
一、单光子干涉	210
二、光电效应	211
三、电子衍射	212
四、薛定谔猫	215
§ 10-2 能量的定态和二能级原子模型	218
一、原子光谱及夫兰克-赫兹实验	218
二、原子定态与二能级模型	220
§ 10-3 量子论的基本假设	223
一、波函数	223
二、薛定谔方程	227
三、力学量算符	228
四、全同粒子的不可区分原理	230
§ 10-4 定态薛定谔方程	232
一、一维无限深势阱	232
二、一维方势阱	233
习题	234
第 11 章 原子与激光	237
§ 11-1 氢原子的能级和能量本征函数	237
一、能量的本征方程、本征值和本征态	237
二、对应原理、态叠加原理及稳定性	241
§ 11-2 简并性破除与量子激光	243
一、简并对称性的破除	243
二、量子激光	245
§ 11-3 原子囚禁	247
习题	249

第 12 章 量子效应与物质结构	251
§ 12-1 固体的能带	251
一、能隙与布里渊区	251
二、金属、半导体和绝缘体的能带结构	252
§ 12-2 量子隧道效应	253
一、单电子隧道效应	254
二、双电子隧道效应	254
三、二极管隧道效应	255
§ 12-3 量子干涉效应	257
一、COW 相移	257
二、A-B 效应	257
§ 12-4 量子非定域性	259
§ 12-5 物质结构、幻数及手征性	261
一、物质结构与幻数	261
二、物质结构的手征性	266
习题	268

第三篇 热物理学与非线性现象

第 13 章 宏观热物理学	273
§ 13-1 温度与热力学第一定律	273
一、平衡态与热力学过程	273
二、热力学第零定律	274
三、热力学第一定律	275
§ 13-2 热力学第二定律和熵增加原理	280
一、卡诺循环	280
二、热力学第二定律	281
三、熵增加原理	285
四、热力学第三定律	288
习题	289
第 14 章 微观热物理学	293
§ 14-1 玻耳兹曼方程与等概率原理	293
一、相空间、宏观态和微观态	293
二、玻耳兹曼方程	295
§ 14-2 麦克斯韦-玻耳兹曼分布函数	298
一、麦-玻分布	298
二、统计平均值	300
三、宏观量与微观量的统计平均值	302
* § 14-3 各种统计分布	305
一、概率分布和统计平均法	305
二、各种统计分布	306

* § 14-4	信息熵	308
	一、信息与信息量	308
	二、信息熵	309
	三、信息熵与热熵	309
	四、信息熵与统计熵	310
§ 14-5	偏离平衡态	311
	一、输运过程	311
	二、开放系统与自组织现象	312
	三、相变及其分类	313
§ 14-6	临界现象	315
	一、气液相变的临界现象	315
	二、气液相变以外的连续相变现象	317
	习题	319
第 15 章	非线性现象——混沌与分形	322
§ 15-1	洛伦茨的不可预见性	322
	一、不可预见性	322
	二、周期三意味着混沌	323
	三、洛伦茨吸引子	324
§ 15-2	菲根鲍姆常数	324
	一、周期倍增与分叉现象	324
	二、菲根鲍姆常数	326
§ 15-3	单摆与倒摆(相空间微扰法)	328
	一、单摆——从规则走向混沌	328
	二、倒摆——从单稳态到双稳态的相变	329
§ 15-4	布鲁塞尔振子	333
	一、模型的建立	333
	二、不动点及扰动的引入	334
	三、稳定性讨论	334
§ 15-5	李雅普诺夫指数	335
§ 15-6	混沌同步控制	336
	一、混沌同步控制	336
	二、应用举例	338
§ 15-7	分形物理	339
	一、海岸线长度的测量	339
	二、扩展对称性	340
	三、伊辛模型和渗流模型	341
§ 15-8	科学的世界观	342
	一、来自宇宙学的启示	342
	二、微观世界的法则	344
	三、单摆的三相共存	344

习题	344
附录一 C 语言的操作、计算、作图与模拟	348
一、Turbo C 平台操作要领	348
二、基础物理的计算程序结构简介	350
三、方程的建立与迭代形式	351
四、三维表现方法	354
五、库函数表说明	355
附录二 矢量基础	359
一、矢量与矢量空间	359
二、矢量空间例	360
三、矢量积与混合积	361
四、矢量场	362
附录三 java 模型学件的说明	364
附录四 常用物理常数及单位	401
参考文献	403

绪 论

§ 0-1 物理学研究的对象

一、什么是物理学

物理学是研究物质结构和运动基本规律的学科,或者说,物理学是关于自然界最基本形态的学科,它研究宇宙间物质存在的各种基本形式,它们的内部结构以及相互作用,研究它们的性质、运动和转化,从而认识这些结构的组元及其整体的运动和转化的基本规律。

一切客观存在都是物质和物质的运动.物质存在的基本单元是粒子,按现代的观点,粒子可分为实粒子和规范粒子,比如,电子、夸克是实粒子,许多粒子,像质子、中子等就是由夸克组成的;另一种粒子,如光子、中间玻色子、引力子是规范粒子.通常还说物质存在的基本形式是粒子和场,对应光子和引力子的是电磁场和引力场.此外,天体物理学家们还推测宇宙中存在一种暗物质或非重子类的物质,所有的物质都有自己的反物质.运动是物质的固有属性,物质的运动形式又是多种多样的,有机械运动、热运动、电磁运动、化学变化、生物运动、宇宙演化等等.这里,有简单的位置变化,也有复杂的人的思维活动.物质的运动往往与它们之间存在的相互作用有关,相互作用则决定了物质运动的变化.物理学是研究物质的组成,物质之间的基本相互作用并由此而确定的最基本、最普遍的运动形式.因而,物理规律具有最大的普适性,物理学是自然科学中的基础学科,可以想见,随着物理学的深入发展,它将逐步渗透并极大地影响其他许多自然学科领域,比如化学、电子信息、生物、医学、生命科学等等.

1999年3月召开的第23届国际纯粹与应用物理联合会(IUPAP)代表大会通过的决议指出:物理学是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用.对物理教育的支持和研究,在所有国家都是重要的,这是因为:1.物理学是一项激动人心的智力探险活动,它鼓舞着年轻人,并扩展着我们关于大自然知识的疆界.2.物理学发展着未来技术进步所需的基本知识,而技术进步将持续驱动着世界经济发动机的运转.3.物理学有助于技术的基本建设,它为科学的进步和发明,提供所需的训练有素的人才.4.物理学在培养化学家、工程师、计算机科学家,以及其他物理科学和生物医学科学工作者的教育中,具有重要的意义.5.物理学可以扩展和提高我们对其他学科的理解,诸如地球科学、农业科学、化学、生物学、环境科学,以及天文学和宇宙学——这些学科对世界上所有民族都是至关重要的.6.物理学提供发展应用于医学的新设备和新技术所需的基本知识,如计算机层析术(CT)、磁共振成像、正电子发射层析术、超声波成像和激光手术等,改善了我们生活的质量.

二、物理学的划分

物理学的划分有多种方式:

1. 按物质的运动形式分类. 对物质运动的形式有两类不同的划分:

(1) 按机械运动、热运动、电磁运动、光运动、原子和核运动等分类;力学研究机械运动,热学研究热运动,电磁学研究电磁运动,光学研究光运动,原子物理研究原子内部运动,核物理研究核内部运动等等.

(2) 按规则、随机、混沌运动分类;确定论物理研究规则运动,随机论物理研究随机运动,混沌论物理研究混沌运动.

2. 按物质的组成及相互作用分类. 可分为粒子、场、粒子与场的相互作用.

3. 按物质存在的形态大小分类. 可分为粒子物理、核物理、原子物理、分子物理、原子团簇物理、凝聚态物理、天体物理、宇宙学物理等.

4. 按物理常数 c 、 h 分类. 其中, c 是光在真空中的速度, $c = 2.997\,9 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, h 是普朗克常量, $h = 6.626\,176 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (焦耳·秒). 物质的运动速度 $v \ll c$ 时, 称低速运动, $v \sim c$ 时, 称为高速运动; 考察与运动有关的量时, 普朗克常量 h 可以略去不计, 则为宏观运动, 若 h 不可略去, 则为微观运动. 经典物理学研究低速宏观运动, 相对论物理学研究高速宏观运动, 量子物理学研究低速微观运动, 相对论量子理论研究高速微观运动, 图 0-1-1 示意了这种划分.

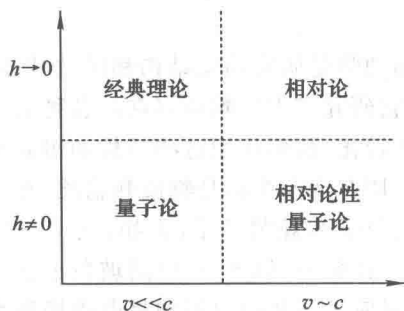


图 0-1-1 按物理常数 c 、 h 分类的物理学

5. 按理论建立的方式分类. 普通物理是从实验出发, 通过归纳总结出规律和定律, 再运用于实践. 理论物理是从假设原理出发, 通过严格演绎得出定律, 并预言结果再用实验加以验证. 近年来, 国外有些教材还提出按物理思想分类等新的观点.

本教材介绍了物理学的最基本的具有代表性的方程有九个: 即牛顿方程、玻耳兹曼方程、麦克斯韦方程、爱因斯坦方程、薛定谔方程、狄拉克方程、克莱因-戈登方程、杨-米尔斯方程、朗之万方程. 我们将重点学习其中四个: 牛顿方程、玻耳兹曼方程、麦克斯韦方程和薛定谔方程, 其余方程只讨论有关思想, 不作定量介绍.

本教材涉及物理学的基本原理有九个: 即哈密顿原理(或最小作用量原理)、等概率原理、熵增加原理及自组织作用、叠加原理、对应原理、等效性原理、对称性原理及对称性破缺、相对性原理、混沌普适性原理. 在有关章节我们将一一介绍这些基本原理, 特别地, 我们还专门写了一节, 阐述了新的科学世界观.

物理学的理论研究方法, 可划分为三类: 即规则运动的研究方法、随机运动的研究方法和混沌运动的研究方法, 本教材突出了物理学研究方法的数学, 这是其他同类教材中所难见到的.

§ 0-2 物理量的测量和单位制

在同一类量中,如选出某一特定的量作为一个称之为单位(unit)的参考量,则对这一类量中的任何其他量进行测量,其测量结果都可用这个单位与一个数的乘积来表示,这个数称为该量的数值.按物理量和单位的正规表达方式,对于一个用符号 Q 表示的物理量,这一关系可以写成

$$Q = \{Q\} \cdot [Q]$$

其中 $[Q]$ 为某一单位的符号,而 $\{Q\}$ 则是以单位 $[Q]$ 表示物理量 Q 的数值.

选定一物理量,如长度、时间和质量等作为基本量,并规定相应的基本单位.于是,其他物理量的单位可以按照它们与基本量之间的关系式(定义或定律)导出,称为导出单位,这样制定的一套单位就构成了一定的单位制(system of units).长度、时间、质量的测量常用国际单位制(SI):长度(米 m)、时间(秒 s)、质量(千克 kg).

按 1901 年第 3 届国际计量大会的规定,国际单位制的质量单位 kg(千克)等于国际千克原器的质量.1983 年 10 月,第 17 届国际计量大会通过了“m”的新定义:“m 是光在真空中 $1/299\,792\,458$ s 的时间间隔内所经路径的长度.”按此定义,真空中的光速值为 $c = 299\,792\,458$ m/s,1967 年,第 13 届国际计量大会采用铯原子钟作为新的时间计量基准,把铯-133 原子基态两个超精细能级之间跃迁所相应的辐射周期的 $9\,192\,631\,770$ 倍,定义为 1 s 的时间间隔.这个跃迁频率测量的准确度可以达到 $10^{-13} \sim 10^{-12}$.

§ 0-3 物理世界的层次和数量级

科学记数法是把数值写成一个小于 10 的数字乘以 10 的幂次,幂指数称为数量级(order of magnitude).

表示一个物理量是由哪些基本量导出的以及如何导出的式子,称为该物理量的量纲(dimension)或量纲式.例如,力学中常用的长度 l 、质量 m 和时间 t ,这三个量在国际单位制中的基本单位是 m、kg、s,并以 L、M 和 T 分别表示这三个基本量的量纲,于是对每个力学量 Q 可写出下列量纲式:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma$$

其中 $\dim Q$ 表示物理量 Q 在国际单位制中的量纲,指数 α 、 β 和 γ 称为量纲指数.

表 0-3-1 某些量的长度的数量级

量	长度/m	量	长度/m
质子的半径	10^{-15}	地球的半径	10^7
电子的康普顿波长	10^{-12}	太阳的半径	10^9
原子的半径	10^{-10}	地球轨道的半径(1 AU)	10^{11}
病毒的半径	10^{-7}	太阳系的半径	10^{13}

续表

量	长度/m	量	长度/m
巨型阿米巴的半径	10^{-4}	地球到最近恒星的距离	10^{16}
昆虫的长度	10^{-2}	银河系的半径	10^{21}
人体的高度	10^0	星系团的半径	10^{23}

在人类已研究的领域中,空间尺度跨越了42个数量级.通常,我们把原子尺度的客体叫做微观系统(microscopic system),把大小在人体尺度上下几个数量级范围内的客体叫做宏观系统(macroscopic system),两者所服从的物理规律不同.近年来人们发现,线宽大约为 10^{-7} m的小尺寸样品,在低温下表现出了电子波的量子干涉效应.人们把这种呈现微观特征的准宏观系统,称为介观系统(mesososcopic system).

表 0-3-2 某些物质质量的数量级

物质	质量/kg	物质	质量/kg
电子	10^{-30}	人体	10^2
质子	10^{-27}	土星5号火箭	10^6
氨基酸分子	10^{-25}	金字塔	10^{10}
血红蛋白分子	10^{-22}	海洋中的水	10^{21}
流感病毒	10^{-19}	月球	10^{23}
烟草花叶病毒	10^{-13}	地球	10^{25}
巨型阿米巴	10^{-8}	太阳	10^{30}
雨滴	10^{-6}	银河系	10^{41}
蚂蚁	10^{-4}	宇宙(现在知道的)	10^{53}