



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

基础物理学

上 册

梁绍荣 管 靖 主编



高 等 教 育 出 版 社
HIGHER EDUCATION PRESS

82

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

基础物理学

上册

梁绍荣 管 靖 主编
管 靖 张 萍



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是教育部“高等师范教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材.本书在体系和结构上都有较大的改革.全书以物理学导论为开端,适当精简了力学,加强了热学,并把波动光学提前,保证电磁学,增强了近代物理学的内容.在重视加强基础的同时,注意教学内容现代化和理论联系实际;删去了与中学物理重复的内容,提高了力学的起点,增加了一些物理学在现代高新技术领域的应用;突出了物理学研究问题的方法和教导学生如何思考问题,在重要问题后面安排“总结与评述”回顾物理学的发展.本书阐述清晰、科学严谨、语言简练、深入浅出,尽量用简单的数学知识,并有较宽的适用面.

全书共五篇,分上、下两册.上册为力学、波动光学、热学,下册为电磁学和量子物理学基础.

本书可作为高等师范院校理科非物理专业 100~140 学时的基础物理学课程的教材,也可供有关高校非物理专业选用或中学教师进修、自学使用.

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学.上册/梁绍荣,管靖主编.—北京:高等教育出版社,2002

ISBN 7-04-010716-3

I.基... II.①梁...②管... III.物理学
IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 037261 号

基础物理学 上册
梁绍荣 管靖 主编

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号
邮政编码 100009
传 真 010-64014048

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
印 刷 北京外文印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 26.25
字 数 450 000

版 次 2002 年 8 月第 1 版
印 次 2002 年 8 月第 1 次印刷
定 价 27.40 元

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

这套基础物理学教材是本课题组的研究成果。这个课题是“高等师范教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的一个立项项目。本课题组的成员为梁绍荣、管靖、张萍、田晓岑、胡镜寰、杨敬明等六人。

在自然科学中,物理学由于它的普遍性、基础性和与其它学科的相关性,占有独特的地位。物理学又以它对最基础、最基本问题的理性追求并努力去澄清“更基础”、“更基本”的含义,以及它的成熟性和精巧性,因而在物质科学中成为基础学科。

近代科学的发展,使物理学和其它学科之间的关系更加密切,同时又产生许多边缘学科,如生物物理学、量子生物学等。物理学和化学有时甚至很难区分,有的学者认为,物理学和化学分离可能是一不幸事件。物理学中的热力学、统计物理学和量子力学是物理化学、结构化学的基础。

有鉴于此,在高等学校中,各理工农医等非物理专业都应开设物理课。实际上,物理学已和数学类似,也应是上述各专业的重要基础课。

非物理专业的大学生学习物理学的目的在于:系统地了解和掌握物理学的基本知识、基本概念、基本规律和基本方法,以提高科学思维能力和科学素质,并有利于培养创新精神。

基于上述认识,我们编写这套教材的指导思想是:系统完整、重点明确、讲述清晰、深入浅出、突出物理思想、简化繁难数学、精简经典部分、增加近代内容、步步为营、层层提高、分段小结、直至前沿。

全书以物理学导论为开端,精简力学,把波动光学提前,适当加深热学,保证电磁学,增强近代物理学。全书共分 5 篇 28 章。书中讲述部分插入一些小字段落,是正文的补充,还有一些选讲内容,用“*”号表示,初学者均可跳过阅读,全书仍连成一体。本书经适当选择,可供 100~140 学时的课程用。

本教材的主要特点为:

1. 系统完整、内容全面、阐述清晰、科学严谨、逐步深入、层层提高。
2. 加了第一章物理学导论,讲述物理学的性质和任务,使初学者对物理学的全貌有一概括的了解和整体的认识,有利于克服“见树不见林”的弊端。
3. 加强基础。“加强”不是增多、加厚,而是从现代物理学的观点,重新审视和提炼,精选内容,强化理论体系。
4. 内容现代化。将以玻尔理论为基础的原子的物理学改为以量子力学为基础的量子物理学(第五篇);力学中增加狭义相对论时空观;光学中增加傅里

叶光学简介；热学中增强熵的内容；电磁学中增加电磁场的相对论变换；量子物理学中增加粒子物理学等现代内容。

5. 加强物理学思想方法的讲授。教材中适当加入这方面的内容，有利于培养学生的创造性思维和提高科学素质。如讲述理想模型法、元过程法、黑箱法、思想实验法、类比法、统计方法以及在狭义相对论建立过程中的创造性思维、在量子力学建立过程中经多位物理学大师的不懈努力的迂回曲折历程等。最终说明，实验是最后的仲裁者，它是检验理论的唯一标准。教材中不仅在讲述过程中注意这方面的内容，而且在适当章节作回顾、评述等，加以强化，以便由知识加方法形成能力。

6. 联系实际，以利于体现理论的威力和提高学生学习的积极性。如讲述卫星姿态的稳定性、有阻力时落体的终极速度、电磁炮、磁悬浮列车、全息照相、信息熵和核能利用等。

7. 提高起点，在力学之前，讲了矢量的基本知识，适当提高起点，以避免和中学物理重复，同时也加深对物理知识的理解。

本教材初稿于 1999 年在北京师范大学数学、化学两个专业试用，效果良好，修改稿于 2000 年扩大到八个专业试用。课题组还与西南师范大学等八所院校联系，广泛征求意见，对修改稿又作了较大的删减，并进一步提炼，于 2001 年初完成第三稿。本书是在第三稿的基础上，采纳了审稿会上各位教授、专家的意见，再次修改、加工后完成的，全书约 90 万字。希望它能成为一套高质量的、适用面较广的面向 21 世纪课程教材。

本书的审稿会于 2001 年 5 月 5 日在北京师范大学举行。由高等教育出版社聘请全国高等学校物理学与天文学教学指导委员会主任委员、北京大学高崇寿教授任主审，参加人员有北京大学丁浩刚教授、首都师范大学祁有龙教授、北京师范大学梁竹健教授和高等教育出版社物理编辑室陈小平主任、陶铮编辑等。

审稿会上，高崇寿教授对本书给予了热情支持和肯定，并提出了系统性的指导意见；丁浩刚教授、梁竹健教授也提出了许多宝贵的修改意见和建议；祁有龙教授逐字逐句地审阅了全书，并提出很多十分有价值的修改意见和建议。

与会专家一致认为：

“该书在结构体系上有所突破，在第一章介绍了整个物理学的全貌及物理学和其它学科的联系，使读者能够对物理学有总体的了解和认识；在重视加强基础的同时，注重教学内容现代化和理论联系实际；删去了与中学物理重复的内容，增加了一些物理学在现代高新技术领域中的应用。”

“该书在立意上有自己独特的风格，突出了物理学研究问题的方法和教导学生如何思考问题，在重要问题后面安排‘总结与评述’回顾物理学的发展，颇有见地；书中全文脉络清晰，科学严谨，具有较好的教学适用性；语言通俗精炼，深入浅出，循序渐进，在教学上有较宽的适用面。”

审稿会建议将该书作为“面向 21 世纪课程教材”出版。

对于审稿会上各位教授、专家的热情鼓励和支持以及对本书提出的许多宝贵的意见和建议，我们表示衷心的感谢。

这套教材分上、下两册，梁绍荣、管靖任主编。上册中力学、热学由管靖编写，光学由张萍编写；下册中电磁学由田晓岑、梁绍荣编写，量子物理学基础由管靖、胡镜寰、梁绍荣编写。杨敬明审校了大部分书稿。

本书在立项、编写、试用过程中得到了“高等师范教育教学改革计划”专家委员会委员、北京师范大学梁竹健教授和当时任北京师范大学物理系副系主任的王永成教授的热情支持与帮助。物理系担任过外系课的唐伟国、胡静、任翠娥、景红梅等多位老师对本书的内容也提出了不少宝贵的意见。

陶铮编辑担任本书责任编辑，为本书的出版付出了辛勤的汗水并作了出色的工作。北京师范大学数学系韩丽娟老师为本书作电脑排版工作，非常认真，仔细推敲，为本书版面的整洁、美观和减少错误作出了可贵的贡献。

在此，一并表示诚挚的谢意。

在编写过程中，课题组经常共同研讨，取长补短，统一认识，分头执笔，相互审阅。未执笔者则有较重的审阅任务。提出意见后，再由执笔人修改，最后由主编核定。我们六人虽尽心尽力，力图体现编写的指导思想和创新精神，但因时间紧迫，水平所限，教材中的缺点、错误在所难免，恳请专家、同行和读者批评指正。

编者
2001.7

目 录

第一章 物理学导论	1
§1-1 物理学的形成与发展	1
§1-2 物理学与技术	2
§1-3 物质世界及其层次	4
§1-4 物质的相互作用	7
§1-5 物理学的特点	9
§1-6 物理学中的理论和实验	10
§1-7 物理学和数学	11
§1-8 单位制与量纲	12
第二章 矢量	15
§2-1 矢量	15
§2-2 矢量的加法和减法	15
§2-3 矢量的数乘	16
§2-4 矢量的正交分解	17
§2-5 矢量的标积 (点乘)	20
§2-6 矢量的矢积 (叉乘)	22
§2-7 矢量导数	23
习题	25
第一篇 力学	27
第三章 经典运动学	28
§3-1 经典运动学的一些基本概念	28
§3-2 质点运动的矢量描述	29
§3-3 质点运动的直角坐标描述	31
§3-4 质点平面运动的极坐标描述	33
§3-5 质点平面运动的自然坐标描述	35
§3-6 刚体的运动	38
习题	40
第四章 经典质点动力学	42
§4-1 牛顿运动定律	42
§4-2 力学中常见的力	45
§4-3 质点动力学 (微分) 方程组	49
§4-4 质点的动量定理和动量守恒定律	54

§4-5	质点的角动量定理和角动量守恒定律	58
§4-6	质点的动能定理和机械能守恒定律	65
§4-7	总结与评述 综合应用	74
§4-8	力学相对性原理	78
§4-9	非惯性系内质点力学	79
§4-10	经典力学的适用范围	87
	习题	88
第五章	相对论基础	91
*§5-1	狭义相对论的实验基础	92
§5-2	狭义相对论的基本原理	95
§5-3	洛伦兹变换	98
*§5-4	双生子效应	110
*§5-5	观测与观看	110
§5-6	狭义相对论的动力学初步	112
*§5-7	广义相对论简介	119
§5-8	总结与评述	125
	习题	128
第六章	经典质点组动力学	130
§6-1	质点组动力学研究方法	130
§6-2	质点组的动量定理和动量守恒定律	131
§6-3	质点组的角动量定理和角动量守恒定律	136
*§6-4	质点组的动能定理和机械能守恒定律	145
*§6-5	同步卫星及其姿态稳定性 潮汐	151
*§6-6	流体的运动	154
§6-7	总结与评述	161
	习题	164
第七章	机械振动	167
§7-1	简谐振动	167
§7-2	简谐振动的合成	176
*§7-3	阻尼振动和受迫振动	182
*§7-4	混沌简介	185
	习题	188
第八章	机械波	190
§8-1	弹性体的应变和应力	190
§8-2	波的基本概念	193

§8-3	平面简谐波方程	196
*§8-4	波动方程	202
§8-5	波的能量	204
§8-6	波的叠加原理 波的干涉 驻波	208
*§8-7	多普勒效应	215
§8-8	总结与评述	219
	习题	220
第二篇	波动光学	223
第九章	光波	225
§9-1	光波的电磁理论	225
§9-2	惠更斯原理	227
§9-3	光波的叠加	228
	习题	234
第十章	光的干涉	235
§10-1	分波前干涉	235
§10-2	薄膜干涉	241
*§10-3	多光束干涉	247
	习题	251
第十一章	光的衍射	254
§11-1	衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	254
§11-2	夫琅禾费单缝衍射	256
*§11-3	光栅	261
§11-4	夫琅禾费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	267
*§11-5	全息照相	270
*§11-6	傅里叶光学简介	273
	习题	277
第十二章	光的偏振	280
§12-1	自然光和偏振光	280
§12-2	偏振光的产生 检验	282
	习题	289
第三篇	热学	291
第十三章	热学的基本概念	293
§13-1	平衡态 状态参量	293

§13-2	温度 热力学第零定律	294
§13-3	理想气体状态方程	297
§13-4	统计规律性的基本概念	299
§13-5	分子动理论的基本出发点 理想气体的压强	303
§13-6	理想气体分子平均平动动能与温度的关系	306
§13-7	麦克斯韦速率分布律	308
	习题	312
第十四章	热力学第一定律	314
§14-1	功和热量	314
§14-2	内能 热力学第一定律	316
§14-3	准静态过程 准静态过程的功	318
§14-4	热容 理想气体的内能和摩尔热容	320
§14-5	有关理想气体内能及摩尔热容的微观理论	323
§14-6	热力学第一定律对理想气体准静态过程的应用	327
§14-7	循环过程和卡诺循环	331
	习题	337
第十五章	热力学第二定律	339
§15-1	热力学第二定律	339
§15-2	可逆过程和不可逆过程	341
§15-3	卡诺定理	344
§15-4	热力学第二定律的数学表述 熵	346
§15-5	热力学第二定律的统计意义	356
*§15-6	信息熵简介	364
§15-7	总结与评述	366
	习题	369
* 第十六章	非理想气体及非平衡热力学初步	371
§16-1	实际气体和范德瓦尔斯方程	371
§16-2	液体的表面现象	375
§16-3	相变	378
§16-4	近平衡态气体输运过程的初级微观理论	384
§16-5	耗散结构简介	388
	习题	395
附录	常用物理常量及换算关系表	397
	习题答案	398

第一章 物理学导论

本章的目的是对物理学作一个极简单的介绍，使读者在开始学习物理学时对它的全貌有一个大概的了解，从而引起读者学习物理学的兴趣，并在我们对各种具体的物理问题作逐一讨论时，能有较开阔的眼界。

§ 1-1 物理学的形成与发展

物理学的前身是自然哲学，研究所有非生物的自然现象。在 17 世纪，牛顿所处的时代，科学与哲学还没有分开，牛顿把他的划时代巨著定名为《自然哲学的数学原理》就是明证。科学逐渐划分为物理学、化学、生物学、天文学、地质学等学科，不过是近二三百年的事情。19 世纪中期后，物理学的研究范围仅限于物质的化学性质不发生变化的过程；随着物理学对物质结构的探索，这种限制现在已被突破。现在认为：物理学是研究物质结构和相互作用以及物质的运动规律的学科。与其它学科相比，物理学更着重于对物质世界最普遍、最基本的规律的探求。

早期人们对客观世界的认识起源于感觉，力学运动是人们最常见的现象，最便于直接观察，所以力学是物理学中发展最早的分支。人们还根据感觉，把观察到的现象分类，如把与视觉有关的现象归为一类，对它们的研究称为光学；与听觉有关的被称为声学，与热现象有关的被称为热学，等等。电磁学与直观感觉的联系较少，所以发展较晚，到 19 世纪才与热力学一起发展成为物理学的两个分支。到 19 世纪末逐步形成了三种较为成熟的重大理论：(1) 经典力学；(2) 热力学和经典统计物理学；(3) 电磁学。此时经典物理学理论体系已基本建成。正当人们为物理学的大厦已近建成而欢呼之际，一系列与经典物理的预言极不相容的实验事实相继出现。在这些实验的基础上，于 20 世纪初，爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 几乎独立地创立了相对论；在普朗克 (M. Planck, 1858—1947)、爱因斯坦、玻尔 (N. Bohr, 1885—1962)、德布罗意 (L. de Broglie, 1892—1987)、海森伯 (W. Heisenberg, 1901—1976)、薛定谔 (E. Schrödinger, 1887—1961)、玻恩 (M. Born, 1882—1970) 等多人的共同努力下，创立了量子力学。逐步形成了两种比较成熟的重大理论：(1) 狭义相对论，(2) 量子力学。它们奠定了近代物理的理论基础。

20 世纪内，随着物理学的发展，又形成了原子核物理、粒子物理、等离子体物理、凝聚态物理、激光物理、介观物理、天体物理等新分支。物理学和其它学科交叉，形成了物理化学、地球物理、生物物理等交叉学科。与此同时，在物理学中发展最成熟的经典力学的基础上，力学在众多领域向纵深

发展,形成了与物理学并行的学科;物理学中发展较成熟的热力学和电磁学也有类似的发展趋势.

粒子物理(或高能物理)和天体物理是当前物理学研究领域里两个活跃的前沿,前者在最小尺度上探索物质更深层次的结构,后者在最大尺度上寻求天体演化的规律.物理学与其它学科形成的交叉学科,也是目前活跃的领域.物理学与化学几乎从来就是并肩发展的,物理化学已是较为成熟的交叉学科,量子化学则涉及对化学现象微观机制的研究,现在我们常把物理学和化学统称为物质科学.物理学与生物学的关系则是另一种情况,1842年沃勒(F. Wöhler, 1800—1882)用无机物合成了尿素之后,认为生命现象由“活力”主宰,不可能用物理学和化学的规律解释的“生机论”动摇了.但生物学有自己独特的思维方式和研究方法,并已取得许多重大成果,所以试图把生物学还原为物理学和化学的“还原论”也不会是正确的.不过20世纪后半叶,在物理学与生物学的交叉点上取得的一系列重大成就,如DNA结构的确定、耗散结构在生物学中的应用等等,说明物理学与生物学的互相渗透有极为广阔的前景,以至于有人预言:21世纪将是生命科学的世纪.那么,什么是生命科学呢?德国结构生物学家米歇尔(H. Michell, 1948—1988年诺贝尔化学奖获得者)讲过,“我认为最好将物理学和生物学结合起来,称为生命科学.”实际上,生命科学是生物学与物理学、化学共同形成的交叉学科.

现在物理学的研究范围迅速扩展,诸如化学键断裂、蛋白质折叠,医学中的免疫理论、心脏纤颤的机理与治疗,以及水土流失、交通阻塞等等,都已成为物理学的研究课题.因此有人认为:不管是什么问题,当物理学家用物理学的方法去研究它时,它就成了物理问题.

1999年国际纯粹物理和应用物理联合会第23届代表大会的决议指出,“物理学——研究物质、能量和它们相互作用的学科——是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用.”对于物理学的作用,大会的口号是“探索自然,驱动技术,拯救生命.”

物理学是理论与实践高度结合的精确科学,物理学有一套全面、有效的科学方法.在科学素质教育中,物理学有无可替代的重要作用.结构生物学家米歇尔也曾讲过:“对我影响最大的是我的物理老师,她教我如何思考问题,严谨、避免走弯路,使我的思想具有逻辑性.”的确,对于将从事科学工作的所有读者,学好物理学都有非同寻常的意义和价值.

§ 1-2 物理学与技术

人们通常把科学和技术连一起而称为科技,实际上二者既有联系又有区别.科学解决理论问题,主要关注未知领域,去发现其中的现象和现象间的

关系,去建立包含这些事实与关系的理论,其进展、其突破都难以预料.技术则是把科学的成果用于实际问题,在较为成熟的领域内工作,可以作出较准确的规划.

18世纪中叶开始了一次技术革命.复杂机械的发展,热机的发明和使用,对物理学提出了要求,从而促使牛顿力学走向成熟,更使分析力学和热力学的研究迅猛发展;分析力学,特别是热力学的理论又反过来促使技术的提高.第一次技术革命以“技术—物理—技术”的模式完成.

19世纪下半叶开始的第二次技术革命以电力的广泛使用、无线电通讯的实现为标志,这一次技术革命则以“物理—技术—物理”的模式完成.1785年建立了库仑定律,1831年法拉第(M. Faraday, 1791—1867)发现电磁感应定律,在这期间众多物理学家努力探索,取得了大量理论成果.在此基础上,之后的半个世纪中各种直、交流发电机和电动机的技术性研究应运而生,并被广泛应用.1865年麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)建立了电磁场理论,1888年赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)完成了电磁波实验,由此才导致了马可尼(G. Marconi, 1874—1937)与波波夫(A. C. Попов, 1859—1906)发明了无线电.以电气化为代表的第二次技术革命的成功又促使物理学进一步发展,相对论和量子力学相继诞生.

20世纪中叶开始并延续至今的第三次技术革命中前述两种模式并存,互相交叉,以第二种模式为主.其中有一个共同的特点:几乎所有高新技术领域(原子能、激光、信息等等)的创立,在事前都经过了物理学长期的研究,在理论与实践上积累了大量知识,在第三次技术革命中才“突然地”迸发而出.试想,如果没有1909年卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937) α 粒子散射实验确认原子的有核结构,没有1905年狭义相对论的创立及质能关系 $E = mc^2$ 的提出,就不可能有40年后核能的利用.没有1917年爱因斯坦提出的受激辐射理论,就不会有1960年第一台激光器的诞生.由计算机及其应用引发了信息革命,而信息技术中的硬件部分都是以物理学的成就为基础的:20世纪20年代建立了量子力学和量子统计物理学,1928年索末菲(A. Sommerfeld, 1868—1951)提出了能带猜想,1929年派尔斯提出禁带和空穴概念.约20年后,贝尔实验室的巴丁(J. Bardeen, 1908—)等人发明了晶体管,标志了信息时代的开始.60—80年代集成电路、大规模集成电路、超大规模集成电路的诞生,终于形成当前信息技术迅猛发展之势.

1986—1987年,实验中高温超导体的发现,推动了超导理论的深入研究.而一旦高温超导体进入广泛的技术应用领域,对高技术的发展又会起到重大作用.

由上述可见,狭义相对论和量子力学不但是近代物理的理论基础,也是

第三次技术革命中高技术发展的基石。同时，经典物理也继续在高技术的发展中发挥重大作用。众所周知，电磁学理论的重要性比以往更为突出；即使是最古老的经典力学也在航空（空气动力学、振动及稳定性）、航天（定向陀螺、引力加速、航天器姿态稳定性、航天器动态对接）及机器人的运动理论等诸多领域内与高技术息息相关。

实际上，物理学中五种较成熟的理论：经典力学、热力学和经典统计、电磁学、狭义相对论、量子力学和量子统计，正共同且全面地支撑着当今高技术的发展。

高技术也为物理学的研究提供了前所未有的手段，高速大型计算机已成为物理学研究必备的设备，哈勃太空望远镜是人类探索宇宙秘密的有力武器。1994—1995年美国费米国家实验室在周长6.4 km、使用1 000个超导磁体的质子-反质子对撞机上进行的实验中发现了顶夸克。顶夸克的发现是物理学以至整个科学界的重大事件，因为证实了六味夸克的存在，就可以解释几百种强子（重子和介子）的存在。

物理学是基础学科，极难产生直接的经济效益，但它却是工业与技术革命的原动力，物理学的进展与突破推动着社会生产力向前飞跃地发展。物理学家非功利性的对自然界的不断探索，实际上给人类社会带来了巨大的功利。

近代高科技的另一特点是科学成果以前所未有的速度应用于生产以及生活实践。1960年诞生的激光器仅短短几年就已广泛应用于技术研究和生产的各个领域，并很快涉及人类生活（激光医学、全息照相等）而进入家庭。所以，国家、民族以至每个人都应有足够的“物理储备”，以迎接21世纪更高、更新的科技发展的考验。

§ 1-3 物质世界及其层次

物质是物理学的研究对象，物质包括场与实物。开始人们为描述物体间的相互作用而引入了场的概念，电力、磁力都通过场起作用，法拉第首先提出了电场、磁场的概念，之后，麦克斯韦于1865年建立了电磁场理论。随着物理学的发展，人们认识到场与实物一样具有动量和能量，是物质的一种形态，但场可以充满全空间，且没有不可入性。对电磁场人们已有了相当的了解。引力的发现早于电磁力，但牛顿认为引力是超距作用的，在经典力学中常使用“引力场”这个概念，这个“引力场”只起对引力的描述作用，与物质形态之一的电磁场不同。爱因斯坦在广义相对论中重新认识引力，把引力归结为时空弯曲。但广义相对论还是发展中的理论，人们对作为一种物质形态的引力场的认识也还是不完善的。

物质中的实物所涉及的范围十分广阔,物理学所要描述的对象从开始的宏观世界(包括与人体尺度相近的若干个数量级)向微观世界(从比原子尺度稍大到更小空间)和宇观世界(天体、宇宙)发展.表 1-3-1 可以给读者一个大致的印象.

目前认为存在三类“基本”粒子:夸克、轻子(电子、中微子等)和规范玻色子(光子、 Z^0 等).现在人们还未观测到它们的内部结构,比如在把电子加速到能量达 10^{11} eV 时,仍未观测到电子的内部结构,依然可把电子看成一个点粒子.质子和中子属于重子,为强子中的一类,由夸克和胶子组成,不属于“基本”粒子.夸克被禁闭在束缚态中,观测不到自由夸克.在前面提到的发现顶夸克的实验中,要把质子和反质子加速到 $2 \times 9 \times 10^{11}$ eV,而且要平均 10^{16} 次对撞才能观测到一次存在顶夸克的事例,而它出现后仅 10^{-24} s 就衰变为其它粒子了.

从物质结构的主要部件看,只要有质子、中子和电子就够了.质子和电子一样是稳定的,可孤立地长期存在;中子却不能孤立地生存,会放射性地衰变(平均寿命约为 15 min)为一个质子、一个电子、一个反中微子.质子和中子可构成原子核,原子核和电子构成原子.原子的质量几乎就是原子核的质量,但尺度却是原子核的约 10^4 倍.

表 1-3-1

实物	尺度 / m	相关学科或分支
粒子	10^{-15} 以下	粒子物理
原子核	10^{-14}	核物理
原子	10^{-10}	原子物理
分子	10^{-9}	化学, 物理化学
巨型分子	} 10^{-7} {	生物化学, 生物物理
小尺寸物质样品		介观物理
固体	$10^{-7} \sim 10^2$	弹性力学, 固体物理
液体和气体		流体力学
等离子体		等离子体物理
植物和动物		生物学, 生物物理
地球		地质学, 地球物理
日地距离 (1AU)	10^{11}	空间物理
到最近恒星的距离	10^{16}	天文学, 天体物理
银河系半径	10^{21}	↓
星系团半径	10^{23}	
哈勃半径	10^{26}	

分子的尺度相差巨大,一般非生物的分子尺度比原子大一个数量级,还属于微观世界.而蛋白、核酸(DNA、RNA)等生物分子可含有数百以至数十亿个原子,长度可达 10^{-2}m .

宏观物体中都含有数量巨大的分子.读者知道,标准状态下 1mol 气体的体积为 $22.4 \times 10^{-3}\text{m}^3$,其中含有 N_A (阿伏加德罗常量) $= 6.022 \times 10^{23}$ 个分子.

地球半径约为 $6.4 \times 10^6\text{m}$,在宏观世界中真是够大了,但地球在太阳系中只是较小的一员(太阳半径为 $7 \times 10^8\text{m}$,木星半径为 $7 \times 10^7\text{m}$).在研究日地空间为主的空间物理中有时用日地距离 $1\text{AU} = 1.5 \times 10^{11}\text{m}$ 为长度单位,但在宇观世界中这个“尺”也还是太短了,常用的长度单位为光年, $1\text{l.y.} = 9.46 \times 10^{15}\text{m}$.离太阳最近的恒星距离太阳也在 4l.y. 以上;星际空间极度空旷,粒子密度约为 1cm^3 中1个;恒星间的距离大约是它们半径的 10^7 倍.

一个星系约含有 10^6 至 10^{11} 个恒星,我们的银河系是一个较大的星系,半径约为 10^5l.y. .星系间的距离大约是它们的半径的100倍.

三角测量是读者熟悉的,如图1-3-1.如我们已知 E_1E_2 的长度及角度 θ_1 和 θ_2 ,则可求出 S 到 E_1E_2 中点的距离.地球绕日的公转为人类提供了基线 $E_1E_2 = 2\text{AU}$,人们可以通过测量恒星的“周年视差”(由地球公转而引起的天体方向的周年变化)而测量恒星到日的距离.“三角视差”法测定范围可达几百光年,是天文学中较短的一把“量天尺”.

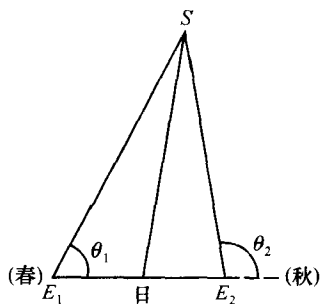


图 1-3-1

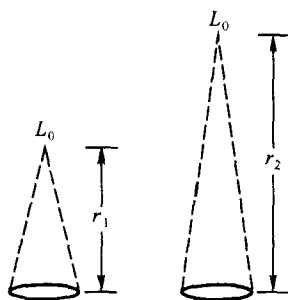


图 1-3-2

对更远的距离要用另一把较长的“量天尺”即“标准烛光”法测量.它的基本原理同样简单,如图1-3-2所示.光度同为 L_0 的天体与地球的距离 r_1 、 r_2 不同时,用同一望远镜接收到光的多少不同,亮度的大小与距离平方成反比.校准标准光源 L_0 和望远镜的参数后,可由亮度求出距离.1912年勒维发现了“造父变星”,其光变周期与光度 L_0 间有确定关系,于是可通过测

其光变周期来定出光度 L_0 , 对照实测亮度可求出其距离. 这种方法的测定范围可达几百万光年.

对于距离达百亿光年的宇宙尺度, “标准烛光”法这把尺也难以胜任. 1929年哈勃 (E. P. Hubble, 1889—1953) 发现星系谱线红移与距离之间的线性关系, 称为哈勃定律. 目前哈勃定律是度量遥远星系和宇宙结构的“量天尺”.

探测表明, 星系在空间的分布是均匀的, 宇宙可以用一个半径为 10^{10} l.y. (10^{26} m) 的球表示. 星系一般显示出远离我们而去, 其速率与离我们的距离成正比 (哈勃定律), 在 10^{10} l.y. 处其退行速度将达到真空中的光速, 这可能对可以探知的宇宙的广延程度设置了一个天然的极限.

物质的层次以其尺度计, 从 10^{-15} m 以下到 10^{26} m , 相差四十余个数量级, 但几乎都与物理学密切相关.

§ 1-4 物质的相互作用

物理理论中离不开物质间的相互作用力 (简称相互作用), 由于物质的层次与形态各异, 所以这些相互作用看起来千差万别. 但随着物理学的发展, 发现物质的基本形态只有粒子和场, 基本相互作用只有如下四种: 引力相互作用, 电磁相互作用, 强相互作用和弱相互作用. 表 1-4-1 中列出了它们的相对强度和力程. 下面对表 1-4-1 作一点简要的说明.

表 1-4-1

	强	电磁	弱	引力
相对强度	1	10^{-2}	10^{-5}	10^{-39}
力程 / m	10^{-15}	长	$< 10^{-18}$	长

一、引力相互作用

引力非常弱, 但它的力程很长. 在长程范围内只有电磁力与引力两种力. 当两个物体都呈电中性时, 就只有引力相互作用了. 由于引力与相互作用的两个物体的质量乘积成正比, 所以当质量巨大而其它相互作用又不存在时, 引力是非常重要的. 实际上引力是唯一控制着天体运行的力.

二、电磁相互作用

静止带电粒子间只有电力相互作用, 运动带电粒子之间除电力外还有磁力相互作用, 二者统称为电磁相互作用. 在四种相互作用中, 人们对电磁相互作用了解得最清楚. 这种相互作用也是长程的, 与引力相比是非常强的, 在有电磁力的情况下, 引力往往可忽略不计.

强相互作用及弱相互作用都是短程力, 只在原子核尺度内才显示出来,