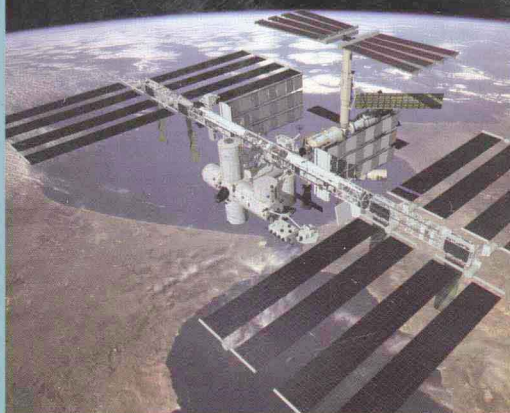


国家精品课程主讲教材

力学 (第二版)

■ 张汉壮 王文全



Mechanics



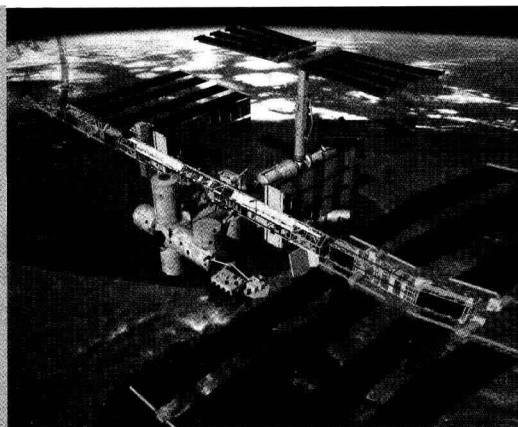
高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

国家精品课程主讲教材

力学 (第二版)

Lixue

■ 张汉壮 王文全



Mechanics



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是作者在第一版的基础上,根据教学改革的需要和物理学类专业规范的要求,参考国内外多部优秀教材,充分听取专家的意见,经反复修改完成的。知识体系的逻辑性与其发展的历史性相结合、基本内容与扩展内容相结合的系统性是本书的主要特点。

本书由绪论和四篇内容组成。绪论部分介绍了物理学基本知识、研究领域与课程体系分类以及物理学发展简史。第一篇和第二篇分别介绍了质点的基本运动规律和运动定理(原理)与守恒定律,是全书的理论基础。以前两篇为基础,第三篇介绍了两种特殊质点系(刚体、流体)的运动和两种较为普遍的运动形式(振动、波动)等典型力学问题的处理方法。第四篇简要介绍了现代时空结构的基本知识(狭义相对论、广义相对论和宇宙学与天体物理)。

本书可作为综合性大学与师范院校物理学类专业的教材,亦可作为其他专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

力学/张汉壮,王文全编.--2版.--北京:高等教育出版社,2012.12

ISBN 978-7-04-035532-1

I. ①力… II. ①张…②王… III. ①力学-高等学校-教材 IV. ①O3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 284594 号

策划编辑 忻 蓓
插图绘制 尹 莉

责任编辑 张海雁
责任校对 刘娟娟

封面设计 张 志
责任印制 毛斯璐

版式设计 范晓红

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 100120
印 刷 三河市杨庄长鸣印刷装订厂
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 27.5
字 数 510 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2009 年 12 月第 1 版
2012 年 12 月第 2 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 47.60 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
物 料 号 35532-00

前 言

本书作者自 1990 年以来一直主讲吉林大学物理学院本科生的力学课程。该课程被评为 2009 年度国家精品课程。应授课学生要求,作者在多年主讲力学课程所用讲义基础上,完成了配合课堂讲授的《力学》(基础理论和习题解答)的编写工作,试用三年后于 2009 年在高等教育出版社出版发行。在此基础上,根据教学改革的需要和物理学类专业规范的要求,参考国内外多部优秀教材,充分听取专家的意见,经反复修改完成了本书的再版工作。本书编著的指导思想与侧重点以及有关说明概括如下:

一、编著的指导思想

一般来讲,教材的编写可以从两个角度来考虑,一是从获得规律的历史角度,另一是从已有规律的逻辑角度。有些获得物理规律的历史与已有知识的逻辑性是一致的,而有些是不完全一致的。因此,从历史的角度和逻辑的角度编写的教材就体现了不同风格。前者可以体现获得规律的过程和解决问题的思想,但需要较大篇幅编写,而且对于初学者来讲需要花费较大精力仔细揣摩和总结。后者可以用较少的篇幅编写,使读者循序渐进地、高效地掌握知识,但缺少对获得规律的过程和解决问题的原始思考。因为经典力学本身已经十分成熟,无论是从历史的角度还是从逻辑的角度,其内容都大同小异,所以体现知识体系的逻辑性与历史性的有机结合,更方便于高中生与大学生学习力学的衔接性过渡,更方便于配合课堂讲授,这是编写本书的指导思想。

二、编著的侧重点

(1) 以知识内容的逻辑体系为主、历史性简介为辅,实现知识体系的逻辑性与历史性的有机结合

本书的主体内容按照质点的基本运动规律、质点与质点系的运动定理与守恒定律、典型的力学问题、近代时空结构等逻辑体系编写,体现循序渐进的认知过程。以绪论部分的物理学发展简史、每章开始的知识内容的历史性简介、相关章节后面的阅读资料等形式体现知识内容的历史性,实现了知识体系的逻辑性与历史性的有机结合。

(2) 以基本内容为主、扩展内容为辅,体现知识内容的系统性

在组织介绍基本知识内容的同时,适当地引入部分扩展内容,以“*”号的

形式标注,体现知识内容的系统性。

(3) 解释日常生活现象,体现理论联系实际

在相关知识点处,利用力学的基本原理解释日常生活现象,如台风的形成、潮水的涨落、运动员转动速度的变化、“香蕉球”的形成、机翼的升力等,激发学生的学习兴趣。

(4) 将习题分类,夯实对物理规律的理解和应用

每章的习题分为三类,一是书中的例题(全书 99 道),二是课后作业题(全书 128 道),三是课后自检练习题(全书 208 道)。其中课后作业题部分尽可能覆盖了相关章节的最基本知识点内容,是学生课后需要完成的最基本练习内容。自检练习题部分是在课后作业题的基础上,针对学有余力的学生而设立的,学生可根据自身的情况,自选自检练习题内容作进一步自我检查练习。如此安排的目的是简化教师在众多的书后习题中挑选作业题的过程。

(5) 通过对物理思想系统性、逻辑性地阐述体现近代时空结构的物理思想

本书所介绍的狭义相对论、广义相对论、宇宙学与天体物理等内容,重在对其物理思想的系统性与逻辑性的阐述,目的是培养学生接受新事物的能力,为后继课程的学习打下思想基础。

三、对如何选取本书内容的说明

本书编者是教育部物理学与天文学教学指导委员会委员,参与了物理学类专业规范的起草工作。依据物理学类专业规范的要求,编者认为,本书中不加“*”号部分是物理学类专业的本科生应该掌握的力学基本内容。加“*”号部分是为了本书知识内容的系统性而编写的,该部分作为扩展内容可以不作教学要求,但是可以帮助那些渴望进一步获得相关知识的读者能够在本书中找到相关答案。

本书的编写得到了陆国会、刘国强、张涵、薛燕、王磊、金立平等多位老师,和李玲、纪文宇、姜丽、隋宁、张晓军以及其他等多位研究生的大力帮助,编者对他们的支持表示由衷的感谢。由于编者水平有限,不足之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

张汉壮

2012 年 4 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权. 任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》, 其行为人将承担相应的民事责任和行政责任; 构成犯罪的, 将被依法追究刑事责任. 为了维护市场秩序, 保护读者的合法权益, 避免读者误用盗版书造成不良后果, 我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击. 社会各界人士如发现上述侵权行为, 希望及时举报, 本社将奖励举报有功人员.

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

绪论	1
一、物理学的内容、研究方法以及在自然科学中的地位	1
二、物理学发展简史	2
三、力学在物理学中的地位和作用	12
四、力学的知识体系	12
五、如何学好力学的建议	13
第一篇 质点基本运动规律	
第一章 质点运动学	17
§ 1.1 位置矢量、速度、加速度及其相互关系	17
1.1.1 质点、参考系、坐标系	17
1.1.2 位置矢量、位移、速度、加速度及其相互关系	19
§ 1.2 位置矢量、速度、加速度相互关系的坐标表示	22
1.2.1 直角坐标系下的表示	22
1.2.2 平面极坐标系下的表示	25
1.2.3 本征坐标系下的表示	28
§ 1.3 相对运动	29
1.3.1 速度和加速度在平动与静止参考系间的变换	30
1.3.2 速度和加速度在匀角速转动与静止参考系间的变换	32
本章知识单元和知识点小结	35
习题	35
第二章 惯性系下质点动力学	39
§ 2.1 牛顿三定律	39
2.1.1 牛顿第一定律	40
2.1.2 牛顿第二定律	41
2.1.3 牛顿第三定律	44
§ 2.2 万有引力定律	44
2.2.1 开普勒三定律	44

2.2.2 万有引力定律的建立过程	45
§ 2.3 自然界中的基本力及力学中常见的力	46
2.3.1 自然界中最基本的相互作用力	47
2.3.2 力学中常见的力	47
§ 2.4 量纲	54
2.4.1 基本量和导出量	54
2.4.2 量纲	55
2.4.3 量纲的意义	55
* 2.4.4 时间、长度和质量的计量	56
本章知识单元和知识点小结	58
习题	58
第三章 非惯性系下质点动力学	64
§ 3.1 相对性原理	64
§ 3.2 非惯性系下质点动力学	65
3.2.1 加速平动非惯性系中的惯性力	66
3.2.2 匀角速转动非惯性系中的惯性力	68
§ 3.3 地球表面惯性力现象分析	72
* § 3.4 惯性力的物理本质	78
3.4.1 惯性质量与引力质量	78
3.4.2 引力场	81
3.4.3 等效原理	82
本章知识单元和知识点小结	84
习题	85

第二篇 运动定理(原理)与守恒定律

第四章 动量定理与动量守恒定律	91
§ 4.1 质点系的质心运动	91
4.1.1 质点系的质心与质心运动定律	91
4.1.2 质心的特点与求法	93
4.1.3 质心坐标系	96
§ 4.2 质点系动量定理与动量守恒定律	97
4.2.1 质点的动量定理	98
4.2.2 质点系动量定理	99
4.2.3 质心动量定理	100
4.2.4 质点系动量守恒	101

4.2.5 质心系下质点系总动量	103
§ 4.3 变质量系统	104
4.3.1 变质量系统动力学方程	104
4.3.2 变质量系统动力学方程应用举例	106
本章知识单元和知识点小结	108
习题	108
第五章 功能原理与机械能守恒定律	114
§ 5.1 质点系动能定理	114
5.1.1 质点动能定理	115
5.1.2 力的功、功率	116
5.1.3 质点系动能定理	119
§ 5.2 质点系动能定理中的内力功分析	121
5.2.1 一对内力功的特点	121
5.2.2 保守内力与非保守内力	122
5.2.3 质点系的势能	124
§ 5.3 质点系功能原理与机械能守恒定律	128
5.3.1 质点系功能原理	129
5.3.2 质点系机械能守恒定律	130
5.3.3 静系与质心系下质点系动能关系	131
5.3.4 质心系下质点系的功能原理	132
* 5.3.5 能量守恒定律	133
§ 5.4 碰撞	134
5.4.1 碰撞的特点	135
5.4.2 一维碰撞过程与分类	135
5.4.3 碰撞定律	136
* 5.4.4 二维碰撞	139
* 阅读资料 A 关于动量和能量的历史讨论	142
本章知识单元和知识点小结	143
习题	144
第六章 角动量定理与角动量守恒定律	150
§ 6.1 质点角动量定理	150
6.1.1 质点的角动量定理	150
6.1.2 力的力矩	152
6.1.3 质点的角动量	153
6.1.4 质点角动量守恒	155

§ 6.2 质点系角动量定理与角动量守恒定律	157
6.2.1 质点系角动量定理	157
6.2.2 质点系角动量守恒定律	160
6.2.3 静系与质心系下质点系角动量关系	162
6.2.4 质心系中质点系的角动量定理	163
§ 6.3 有心力场问题	164
6.3.1 三种宇宙速度	164
*6.3.2 有效势能与轨道特征	166
6.3.3 两体化单体问题	169
*§ 6.4 守恒律与对称性	170
6.4.1 对称性	170
6.4.2 因果关系与对称原理	171
6.4.3 守恒律与对称性	171
本章知识单元和知识点小结	172
习题	173

第三篇 两种特殊质点系的运动与两种普遍的运动形式

第七章 刚体	179
§ 7.1 刚体定轴转动运动学	179
7.1.1 描述刚体定轴转动的转动参量	179
7.1.2 转动参量的矢量性分析	181
7.1.3 转动角量与线量的关系	182
§ 7.2 刚体定轴转动动力学	183
7.2.1 刚体定轴转动的势能、动能、角动量、外力功	183
7.2.2 转动惯量	186
7.2.3 刚体定轴转动的转动定律	190
7.2.4 刚体定轴转动的角动量定理与角动量守恒定律	191
7.2.5 刚体定轴转动的动能定理	193
§ 7.3 刚体平面平行运动的处理方法	194
*7.3.1 作用在刚体上的力系及其简化	194
7.3.2 刚体平面平行运动的处理方法	196
§ 7.4 以质心为基点处理刚体的平面平行运动	198
7.4.1 平面平行运动的动能及角动量的表达式	198
7.4.2 描述刚体的平动和转动的方程	198
7.4.3 刚体平面平行运动举例	199

§ 7.5 刚体平面平行运动中的瞬时转轴	212
7.5.1 刚体平面平行运动中的瞬时转轴	212
7.5.2 刚体绕瞬时转轴的动能定理	213
7.5.3 刚体绕瞬时转轴的转动定律	214
§ 7.6 刚体的平衡	215
* § 7.7 对称刚体的定点运动现象	216
7.7.1 对称刚体的惯量主轴	216
7.7.2 刚体不受外力矩作用时的运动现象	217
7.7.3 刚体受外力矩作用时的进动现象	218
7.7.4 刚体受外力矩作用时的章动现象	222
7.7.5 刚体定点纯滚动时的进动现象	223
本章知识单元和知识点小结	226
习题	227
第八章 流体	236
§ 8.1 流体静力学	236
8.1.1 静流体内任意一点的压强	236
8.1.2 静流体内不同点压强的关系	239
8.1.3 浮力定律(阿基米德原理)	240
8.1.4 帕斯卡定律	243
§ 8.2 理想流体的定常流动	244
8.2.1 动流体的描述	244
8.2.2 动流体内任意一点的压强	245
8.2.3 连续性方程	246
8.2.4 伯努利方程	246
* 8.2.5 流体的动量与角动量	247
§ 8.3 伯努利方程的应用	249
8.3.1 小孔流速测量	249
8.3.2 管道中流体流速测量——汾丘里流量计	249
8.3.3 非管道中流体流速测量——皮托管	250
8.3.4 虹吸现象	251
8.3.5 机翼的升力 马格纳斯效应	252
* § 8.4 黏性流体的流动	253
8.4.1 黏性流体的黏性定律	253
8.4.2 黏性流体在水平圆管内的流动——泊肃叶公式	254
8.4.3 黏性流体伯努利方程的修正	256

8.4.4 层流、湍流——雷诺数	256
8.4.5 物体在黏性流体中所受阻力——斯托克斯公式	257
本章知识单元和知识点小结	257
习题	258
第九章 振动	263
§ 9.1 简谐振动	263
9.1.1 简谐振动的动力学方程及其解	264
9.1.2 简谐振动的运动学特征	268
9.1.3 简谐振动的几何描述	272
9.1.4 简谐振动的合成	272
§ 9.2 阻尼振动	278
9.2.1 阻尼振动的微分方程及其解	278
*9.2.2 弱阻尼振动的能量损失、品质因数	280
§ 9.3 受迫运动	281
9.3.1 受迫振动的微分方程及其解	282
9.3.2 受迫振动的共振现象	283
*9.3.3 受迫振动中的能量	285
*§ 9.4 二自由度振动——简正频率	286
*§ 9.5 非线性振动简介	288
本章知识单元和知识点小结	290
习题	291
第十章 波动	297
§ 10.1 机械波的定性描述	297
10.1.1 产生机械波的条件与波的特点	297
10.1.2 波的几何描述	298
10.1.3 波的分类	298
§ 10.2 机械波的波动方程	299
10.2.1 张紧弦线的波动方程	300
10.2.2 固体的弹性波动方程	300
§ 10.3 机械波的运动学方程	303
10.3.1 机械波波动方程的解	303
10.3.2 波传播形式的分类	304
10.3.3 波的相速度与*群速度	305
§ 10.4 简谐机械波的运动学方程	308
10.4.1 描述简谐波特征的物理量	309

10.4.2 相位传输法确定平面简谐波表达式	309
10.4.3 平面简谐波几种常见的表达式	310
§ 10.5 机械波的能量、传播以及反射与合成	311
10.5.1 行波的能量	311
10.5.2 波的衍射 惠更斯原理	316
10.5.3 波的叠加原理	317
10.5.4 波在界面的反射与透射	318
10.5.5 驻波	319
10.5.6 简正频率	323
§ 10.6 多普勒效应	326
*§ 10.7 声波与超波速运动简介	329
本章知识单元和知识点小结	330
习题	331

第四篇 时空结构

第十一章 狭义相对论简介	337
§ 11.1 经典时空观与实验的矛盾	337
11.1.1 伽利略变换蕴含的经典时空观	338
11.1.2 经典时空观与实验的矛盾——迈克耳孙-莫雷实验	339
§ 11.2 狭义相对论的两条基本假设	341
§ 11.3 洛伦兹变换与速度和加速度变换	341
11.3.1 洛伦兹变换	342
11.3.2 相对论中的速度和加速度变换	344
11.3.3 伽利略变换与洛伦兹变换的分析比较	345
§ 11.4 狭义相对论运动学的基本现象	347
11.4.1 同时的相对性	347
11.4.2 时间延缓	349
11.4.3 长度收缩	352
11.4.4 时钟的同步	355
11.4.5 多普勒效应	360
*§ 11.5 狭义相对论动力学基本关系式	363
11.5.1 相对论中的质量和动量	363
11.5.2 相对论中的动能、质能关系	364
11.5.3 相对论中的能量与动量的关系	364
11.5.4 相对论中的力	365

11.5.5 静质量为零的粒子	366
本章知识单元和知识点小结	367
习题	368
*第十二章 广义相对论简介、宇宙学与天体物理初步	372
广义相对论简介	
§ 12.1 狭义相对论的两个遗留问题	373
§ 12.2 广义相对论的理论基础	374
12.2.1 等效原理	374
12.2.2 引力场方程	375
12.2.3 广义协变性原理	377
§ 12.3 广义相对论预言现象与实验证实	378
12.3.1 光线偏折与星体位置观测和引力透镜	378
12.3.2 引力时间延缓与引力红移	380
12.3.3 时空弯曲与水星轨道进动	381
12.3.4 引力场中光速减慢与雷达回波延迟	382
12.3.5 黑洞	383
12.3.6 引力子与引力波	384
宇宙学与天体物理初步	
§ 12.4 宇宙的物质结构与年龄	385
§ 12.5 宇宙的统一整体性——宇宙学原理	386
§ 12.6 宇宙在膨胀——哈勃定律与奥伯斯佯谬	387
§ 12.7 宇宙的起源——大爆炸理论模型	388
§ 12.8 暗物质与暗能量	391
§ 12.9 恒星的演化与发光星体的观测分类	392
12.9.1 恒星的演化——白矮星、中子星、黑洞	392
12.9.2 发光星体的观测分类——星座	393
阅读资料 B 关于引力场方程所决定的时空度规的简要介绍	393
矢量运算基本知识	401
常用数据	404
习题参考答案	406
参考文献	425

绪 论

一、物理学的研究内容、研究方法以及在自然科学中的地位

1. 物理学的研究内容

物理学是研究物质的结构、性质、基本运动规律以及相互作用和相互转化规律的科学. 从物质的运动形式和物质的结构角度, 物理学形成了包括力学、热学、电磁学、光学、原子物理学等基本内容的各分支学科. 各分支学科之间既相对独立又互相渗透, 形成了彼此密切联系的统一的物理学整体. 按照研究对象的不同尺度和结构层次, 当今的物理学也划分为天体物理学、凝聚态物理学、原子分子物理学、核物理学和粒子物理学等. 无论从哪个角度划分物理学的研究内容, 各分支学科的基本知识内容是物理学的基础, 也是物理学类本科生所需掌握的基本知识内容. 将物理学的最基本分支学科按照知识领域、研究的对象和内容、课程体系等进一步来描述, 其定性的关系如表 1 所示.

表 1

知识领域	研究的对象和内容	课程体系	
		基本课程	后读课程
机械运动现象与规律	研究大到天体、小到颗粒等宏观物体的空间运动规律	力学	理论力学
热运动现象与规律	研究大量微观粒子的统计运动规律	热学	热力学与统计物理
电磁和光现象与规律	研究包括光波在内的电磁场的运动、粒子在电磁场中的运动等规律	电磁学、光学	电动力学
物质微观结构和量子现象与规律	研究物质的微观结构以及微观粒子的个体运动规律	原子物理学	量子力学
凝聚态物质结构及性质	研究由大量原子所组成的凝聚态物质的结构、相互作用及其宏观物理性质	固体物理学	凝聚态物理学
时空结构(狭义相对论、广义相对论、宇宙学)	研究时间和空间以及引力场性质, 宇宙的形成、结构及演化	力学	电动力学 量子力学

表 1 中的力学、热学、电磁学、光学、原子物理学等俗称为“普通物理”课程,对应的理论力学、热力学与统计物理、电动力学、量子力学等后继的理论物理俗称为“四大力学”课程。

2. 物理学的研究方法

物理学现象与规律的研究可以用不同的方法来进行.一种是以实验为基础,通过观测总结上升至理论,称为实验物理学研究方法.19 世纪中叶以前的物理学研究大都属于这类.另一种是从已知的原理出发,理论上预测规律,再被实验所验证,称为理论物理学研究方法.20 世纪以后,实验物理学和理论物理学两大分支并存,相辅相成地推动着物理学的发展.随着计算机技术的进步和发展,将数学和计算机应用到理论物理学的研究中,可以解决复杂体系的物理问题,称之为计算物理学.因此,物理学的研究包含实验、理论与计算,所得结论的正确性必须由实验测量与观察来验证.

3. 物理学在自然科学中的地位

在科学长期的发展中,物理学是自然科学中最成熟的基础性学科.物理学在探索未知的物质结构和运动基本规律中的每一次重大突破,都带来了物理学新领域、新方向的发展,并导致新的分支学科、交叉学科和新技术学科的产生.物理学又是科学技术进步的源泉,极大地推动着人类文明的进步.自 17 世纪经典力学的体系建立以来,物理学的三次重大突破都导致了重大的技术进步和生产力的巨大飞跃.第一,在力学基础上的热学和热力学的研究促进了蒸汽机的发明和广泛应用,为工业生产和交通运输提供了动力,形成了人类历史上的第一次工业革命.第二,电磁感应的研究和电磁学理论的建立导致了发电机、电动机的发明和无线电通信的发展,引发了第二次工业革命.第三,相对论、量子力学的建立为近代物理的发展奠定了理论基础,使物理学进入高速、微观的领域,在原子能、电子计算机、微电子技术、航天技术、分子生物学和遗传工程等领域取得了重大突破.

物理学不仅是一门基础性的自然科学,也是现代技术的重要基础,是人类文化的重要组成部分.

二、物理学发展简史

物理学是人类历史上最悠久的自然科学.人类对物理现象的最早观察始于古巴比伦和古希腊.到公元 15 世纪末以前,物理学还只是分散和不成体系的研究.物理学真正成为科学始于 16、17 世纪,最先建立了牛顿力学,到 19 世纪末相继建立了热学、统计力学、光学以及电磁学,建成了经典物理学大厦.20 世纪初,量子力学与相对论的建立使物理学发展为近代物理学.表 1 中的各分支学科的大致发展历程如表 2 所示.

表 2

经典物理						近代物理		
	力学	热学	电磁学	光学	原子物理	相对论	量子力学	
15 世纪以前	 ①	 ②						
	 ③							
	① 亚里士多德(古希腊,公元前 384—前 322)著作《物理学》,统治近千年物理学历史。 ② 阿基米德(古希腊,公元前 287—前 212)发现浮力定律、杠杆原理。 ③ 托勒密(古希腊,约 90—168)创立了“地心说”。							
16 至 18 世纪期间	 ④	 ⑤						
	 ⑥	 ⑦						
	④ 哥白尼(波兰,1473—1543)建立了“日心说”体系。 ⑤ 开普勒(德国,1571—1630)建立了开普勒第一、第二、第三定律。 ⑥ 伽利略(意大利,1564—1642)发现了自由落体和惯性定律。 ⑦ 牛顿(英国,1643—1727)建立了牛顿三定律和万有引力定律。 牛顿完成了人类科学史上的第一次科学总结。							
				 ⑧	 ⑨			
				 ⑩	 ⑪			
				⑧ 斯涅耳(荷兰,1580—1626) ⑨ 费马(法国,1601—1665)等建立了几何光学。 ⑩ 惠更斯(荷兰,1629—1695)、 ⑪ 菲涅耳(法国,1788—1827)等建立了波动光学。				
19 世纪期间		 ⑫						
		 ⑬						
		 ⑭						
			 ⑮	⑫ 克劳修斯(德国,1822—1888)在迈耶、焦耳、亥姆赫兹等能量守恒基础上,建立了热力学第一定律。在卡诺循环基础上,克劳修斯和开尔文(爱尔兰,1824—1907)分别以不同的表述形式建立了热力学第二定律。在麦克斯韦和⑬玻耳兹曼(奥地利,1844—1906)气体速率分布统计思想上,⑭吉布斯(美国,1839—1903)建立了统计力学。 ⑮ 麦克斯韦(英国,1831—1879)在库仑、奥斯特、安培、法拉第等人的研究基础上,建立了麦克斯韦方程组,完成了人类科学史上的第二次科学总结。				