

中国科学院大学本科生教材系列

力学讲义

Lectures on Mechanics

赵亚溥 著
ZHAO Ya-Pu



科学出版社

中国科学院大学本科生教材系列

力学讲义

Lectures on Mechanics

赵亚溥 著

ZHAO Ya-Pu

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是著者为中国科学院大学(国科大)一年级本科生讲授《普通物理·力学》A班课程三年后,进一步沉淀和凝练而成的教材。针对国科大特别是A班的教学特点,著者在借鉴和吸收朗道、栗弗席兹理论物理教程第一卷《力学》突出优点的基础上,结合近年来相关的重大科学进展,适当地增加了一些新的内容,并给出了丰富的例题和思考题。

本书的主体内容包括:牛顿力学、拉格朗日力学、哈密顿力学、连续介质和非线性力学初步、生命力学初步、相对论和量子力学初步等内容。著者将启人心智的“思想实验”和“类比”、发人深省的科学典故以及鲜活生动的学科前沿巧妙、生动地结合在一起,在教学改革方面做了深入探索。

本书可供力学、物理学、工程科学及相关专业的本科生、研究生、教师和科研人员使用,亦可作为力学爱好者的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

力学讲义 / 赵亚溥著. —北京:科学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-03-057180-9

I. ①力… II. ①赵… III. ①力学 IV. ①O3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 076132 号

责任编辑:刘信力/责任校对:邹慧卿

责任印制:肖 兴/封面设计:陈 敬

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>

天津市新科印制有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年5月第 一 版 开本:850×1168 1/16

2018年5月第一次印刷 印张:24 3/4

字数:600 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

创建于 1687 年的经典力学不但为所有科学提供了范式,而且还对 100 年后美国宪法的制定产生了重要影响,美国开国元勋托马斯·杰斐逊 (Thomas Jefferson, 1743~1826) 曾说: 美国宪法, 是臣服于牛顿力学规律的. 经典力学这门课之所以难教, 其根本原因就在于对这种历史文化遗产性的体会和把握.

从 2015 年开始, 受中国科学院大学 (国科大) 物理学院的邀请, 我为国科大一年级第一学期的本科生讲授《普通物理·力学》快班 (后来称为 A 班) 的课程. 经常遇到的疑问之一是, 作为专职的中国科学院各研究所的科研人员, 为什么要到大学讲课? 这个问题事实上费曼 (Richard Feynman, 1918~1988, 1965 年诺贝尔物理学奖获得者) 很早就精辟地回答过:

“我不相信, 如果不教书我还能过得下去. 原因是, 这样就算我一点东西都想不出来时, 我还能跟自己说: ‘至少我还活着, 至少我还在做一些事情, 有些贡献.’ 这是一种心理作用.

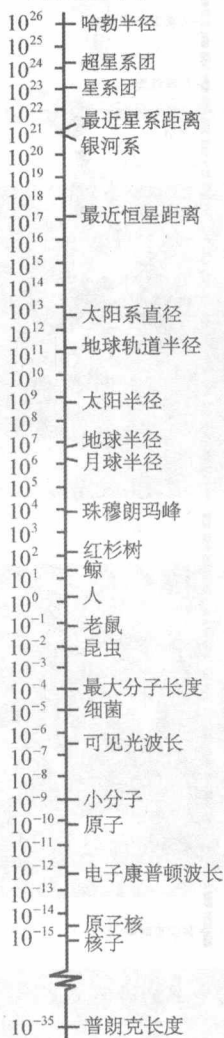
二十世纪四十年代, 我待在普林斯顿的期间, 亲眼看到高等研究院内那些卓越心灵的下场. 他们都具备了聪明绝顶的头脑, 因此特别被选中, 来到坐落在森林旁边的漂亮房子里, 整天悠哉游哉地闲坐——不用教书, 没有任何约束或负担. 这些可怜又可恨的家伙们跟人没有交流, 只能自己闭门造车, 对吧? 但等过了一段日子, 他们想不出什么新东西来, 每个人心里一定开始感到内疚或沮丧, 更加担心提不出新想法. 可是一切还是如旧, 仍然没有灵感.

会发生这种情况, 完全是因为那里缺乏真正的活动和挑战: 他们没有跟做实验的学者接触, 也不必思索如何回答学生提出的问题, 什么都没有!

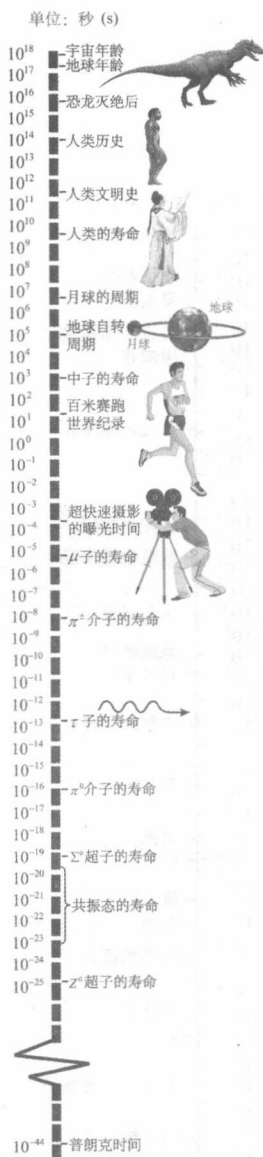
在任何思考过程中, 当一切进行顺利、灵感源源不绝时, 教书确实是一种妨碍, 十分讨厌. 但更多的时候是脑袋空空的, 如果既想不出什么、又没做什么, 那真会令人疯狂! 你甚至不能说: ‘我在教书呀!’

而且, 在课堂上时, 你可以思考一些已经很清楚的基本东西. 这些知识是很有趣、令人愉快的, 重温一遍又何妨? 另一方面, 有没有更好的介绍方式? 有什么相关的新问题? 你能不能赋予这些旧知识新生命? 基本的东西思考起来并不难; 而如果你没想出什么新东西来, 没关系, 以前想过的已足以应付讲课之用了. 但如果你真的有什么新想法, 能从新角度看事物, 你会觉得很愉快.

单位: 米 (m)



物质世界的空间尺度



物质世界的时间尺度

学生问的问题,有时也能提供新的研究方向.他们经常提出一些我曾经思考过、但暂时放弃、却都是些意义很深远的问题,重新想想这些问题,看看能否有所突破,也很有意思.学生未必理解我想回答的方向,或者是我思考的层次;但他们问我这个问题,却往往提醒了我相关的问题.单单靠自己,是不容易获得这种启示的.

因此对我来说,教书以及学生,使我的生命继续发光发亮,我也永远不会接受任何人替我安排一切——快快乐乐的不必教书.永远不会!”

虽然费曼的上述精辟的论述给予我心理的慰藉,但我想费曼的这段话只表述了我一半的心声,另一半的心声就是《管子·修权》中的名言——“一年之计,莫如树谷;十年之计,莫如树木;终身之计,莫如树人.”

经常所遇到的疑问之二是,用何体系或何教材来讲授?我的主要思路是:

(1) 一年级第一学期的本科生需要从高中的做题模式中尽快走出,要注重培养他们的质疑和批判性思维 (critical thinking). 国科大针对本科生十分注重“情怀与品质、能力与思维、知识与兴趣”的培养,这无疑与《礼记·学记》中的精辟论述“君子之教,喻也.道而弗牵,强而弗抑,开而弗达”不谋而合.古代先贤用短短十几个字就将教学中教师的主导性、学生的主体性展现得淋漓尽致.也就是说,高明的教学不是直接灌输知识,而是情境的创设:要引人入胜,而不是牵着学生的鼻子;教师在本领域有强的学术地位,但不压制学生的见解;要在问题源头上启发和提高学生的悟性,而不是直接给出答案.

(2) 建立物理图像是本课程的首要任务,因而注重以“思想实验 (thought experiment)”为主线进行讲授是著者最为深刻的体会.事实上,爱因斯坦坚持物理最基础的部分必须要通过“要有思想实验般的思考,同时要有哲学的思想,还有数学的思维”这个过程.1895年,爱因斯坦16岁时的追光思想实验为其十年后建立狭义相对论孕育了思想上的萌芽.因此,想象力比知识和感官更重要.

重要的是,在教学中要让同学们深切感受到,当代科学的迅猛发展,在科研方法上已经从传统的方法发展到全新的科研方法.这里所说的传统的科研方法正是我们作为教师的一代人在接受本科教育时,所接受的包括如下两个方面的主要内容: (i) 实验 (实证) 研究方法; (ii) 理性研究方法.这种传统的科研模式可能是温文尔雅的、按部就班的、四平八稳的,但已经确实不再适应周期越来越短、知识大爆炸、特别是大数据时代的形势.

而所谓“全新的科研方法”是指:从现有科学理论系统出发,进行思想实验,预测某个待发现的科学理论,再研究由实验来证实这个思想实验.和传统的科研模式相比,这种全新的以思想实验为基本特征的新的科研方法可以是摧枯拉朽的、生命

力极其旺盛的, 其中的杰出代表便是 1953 年 DNA 双螺旋的发现。

在科研一线拼搏了近三十年后再来兼职本科生的教学工作, 促使我们这些授课人进行深入反思的是, 对于二十世纪科学理论的重大进展, 一般是先有“思想实验”或“思想发现”, 再实现“实验验证”的特征的确十分明显! 一个典型的例子就是杨振宁、李政道有关弱相互作用中宇称不守恒的思想和理论在前、吴健雄的实验在后的案例。这的确不同于传统的先有实验发现, 再有理论建立的特点。

(3) 从美学的角度出发介绍经典力学是著者这两年授课的成功体会之一。

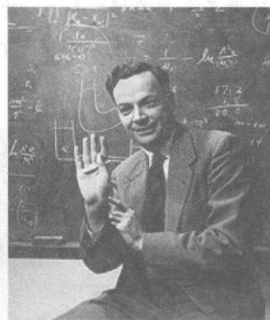
(4) 普通物理力学 (简称普物力学) 虽然是一门已臻成熟的学科, 但仍然和一些前沿学科的发展十分紧密, 结合课堂上所讲授的内容, 适时地将有关科学研究的最新突破和进展报告给同学们, 使他们对科学前沿感兴趣, 开阔他们的视野, 从而进一步使他们坚定打好基础的决心, 为培养未来的杰出人才奠定坚实的基础。

基于在美国加州理工学院对本科生的授课, 费曼和助教撰写了《费曼物理学讲义》, 至今仍是以新奇并简单的形式思考我们的宇宙的最重要的指南之一, 费曼也因此于 1972 年获得了美国物理教师协会 (the American Association of Physics Teachers) 的最高奖“奥斯特奖 (Oersted Medal)”。值得特别指出的是, 费曼的博士生导师、“黑洞”一词的命名者惠勒 (John Wheeler, 1911~2008) 也于 1983 年获得了奥斯特奖。

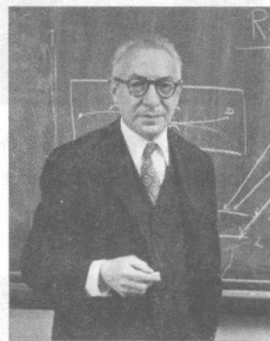
1981 年, 美国物理教师协会将奥斯特奖授予了 83 岁的物理学大师拉比 (Isidor Isaac Rabi, 1898~1988, 1944 年诺贝尔物理学奖获得者)。通过上述典型案例, 人们自然会问: 什么是好的教学和好的教师? 这个问题没有也不应该有一个简单的答案, 其原因是好教师在风格、品味和教学方法上千差万别。但是可以有一个长期有效的对好教师的判断标准, 那就是看他的学生毕业后十年的发展状况。伟大的教师会对学生们有着深远的影响, 这种影响会成为学生工作的终身焦点。拉比培养出了多位诺贝尔奖学生。从上述意义上来讲, 拉比是一位伟大的教师。拉比认为, 科学课程应该有相当部分的人物传记, 这样将有一个历史的背景、哲学背景、社会和技术影响等方面的内容, 同时也包含了时空观。这样做的好处是, 课程不但讲授了框架, 使课程有了骨骼, 也将使课程有血有肉, 容易引起学生们的兴趣, 教师讲授和同学们接受的效果更佳。事实上, 我在这门课的讲授中也遵循了这一原则。

我还十分赞赏这样的观点, 那就是普通物理学和经典力学一样, 都是一种文化历史的传统。当教师把其当作一堆现成结论时, 教出的学生只能是运用这些结论的人, 而不是学科的创造者。正视经典力学的历史文化的传承性, 有助于我们的教育水平跃上一个新的高度。事实也一再证明, 当学生被置于科学史长河之中的时候,

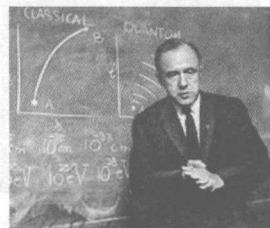
三位获得奥斯特奖的物理学大师



费曼



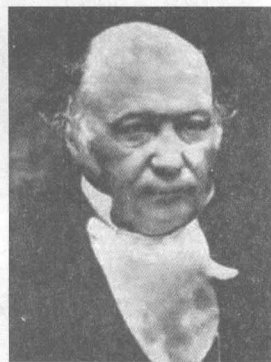
拉比



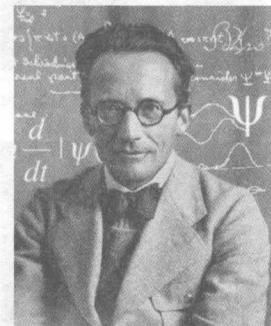
惠勒



温伯格将牛顿力学评价为“科学革命的巅峰”和“一次巨范式转移”（见本书第 60 页）



哈密顿将拉格朗日力学评价为“科学的诗篇”（见本书第 128 页）



薛定谔将哈密顿力学评价为“现代物理学的基石”（见本书第 180 页）

他们所焕发出来的创造力往往超出我们作为教师的想象，可能是惊人的！

我为国科大一年级本科生上课之前，曾专门征求过于渌院士的意见，他强烈地推荐了朗道和栗弗席兹理论物理教程十卷中的第一卷《力学》，该书已经培养了数代物理学家。读费曼的物理学讲义和朗道的力学，会非常强烈地感受到：虽然他们教育方式不同，但这两部教材又有极大的共同点——它们都是极为成功的！我在国科大的授课中选择朗道力学的基本体系是因其起点高、内容精炼、在很小的篇幅中浓缩了力学的基本原理和许多具体应用，更适合国科大的特点。但朗道教程毕竟成书于二十世纪的四十年代，虽经再版，但适当地增加些新的内容也是时代发展的要求。本书的撰写初衷也就在于此。

本教材于 2018 年出版，恰逢朗道诞辰 110 周年、费曼诞辰 100 周年，著者深受这两位物理学大师、教育家的影响，特别是，著者曾在中国科学院力学研究所为博士生教授了十余年的朗道和栗弗席兹理论物理教程第七卷《弹性理论》，所教过的学生大多已经成才。此时，著者感慨万千的心情是不难理解的！

可能一些读者不能完全理解书中的许多公式，但著者相信，您一定会被书中的某一段经过深入挖掘的科学典故或历史照片所深深打动，甚至心灵有震颤之感。其实，本书的撰写过程，也是著者的再学习过程，心灵得到进一步净化、升华和抚慰的过程。

本书得到中国科学院大学教材出版中心资助。

最后，我用 2004 年诺贝尔物理学奖得主韦尔切克 (Frank Wilczek, 1951~) 在 2016 年发表的题为“未来 100 年的物理学 (Physics in 100 years)”文中一段富有启迪性的话来结束本前言：

“自然哲学经常讨论上帝视角和蚂蚁视角的竞争。上帝视角是指从整体来理解现实；蚂蚁视角是指人在感知身边事件随时间流动时获得的观念。从牛顿开始，蚂蚁视角就主宰了基础物理。我们把对世界的描述分割为两部分：动力学方程和它们的初始条件。动力学方程不能决定哪个初始条件描述现实。这种分割在实际应用中非常有用和极其成功，但是这个方法远远不能给我们一个对世界的完整科学描述。

对我来说，未来一百年基础物理面临的最深刻挑战是，将对现实的描述从蚂蚁视角上升到上帝视角。”

赵亚溥

2018 年 1 月于北京中关村

目 录

前言

第一篇 经典力学概览	1
篇首图	2
§1. 何谓经典力学?	3
§2. 经典力学的三个组成部分以及所联系的空间	7
§3. 经典力学和几何光学之间的类比性, 最小作用量原理	8
§4. 物理规律的微分和积分表示	14
§5. 经典力学中的第一性原理	15
§6. 力学中一定得有力吗? 何物理量比力更基本?	15
§7. 普通物理·力学和理论力学有何不同?	16
§8. 物理学的统一	17
§9. 物理学中的架构和美	21
思考题和补充材料	26
参考文献	34
第二篇 牛顿力学与思想实验	39
篇首图	39
§10. 中国古代先哲对“宇宙”和“力”的论述	40
§11. 思想实验	42
§12. 思想实验之一: 镞矢之疾、飞矢不动、芝诺佯谬	44
§13. 思想实验之二: 伽利略相对性原理——萨尔维阿蒂的大船	51
§14. 开普勒三大行星定律	54
§15. 牛顿的《自然哲学的数学原理》和三大运动定律	60
§16. 平方反比定律——牛顿万有引力定律、有心力场、保守力	63
§17. 牛顿壳层定理、地球内外的引力势	71
§18. 爱因斯坦的电梯思想实验, 惯性质量、引力质量与等效原理	73
§19. 牛顿的水桶思想实验和马赫原理	81
§20. 四种虚拟力	89
§21. 功-能定理、机械能守恒定律	94
§22. 动量定理、动量守恒定律	96

§23. 动量矩定理、动量矩守恒 (角动量守恒) 定律	99
§24. 位力定理	107
思考题和补充材料	112
参考文献	122
第三篇 拉格朗日力学	127
篇首语	128
§25. 广义坐标、自由度和位形空间	129
§26. 哈密顿原理	132
§27. 拉格朗日方程的导出、拉格朗日方程和牛顿第二定律的等价性	133
§28. 瑞利耗散函数、力-电类比	136
§29. 从拉格朗日方程出发重新审视伽利略不变性	141
§30. 应用拉格朗日方程证明诺特定理	144
§31. 运动积分、运动常数	149
§32. 虚位移、虚功原理、广义力	149
§33. 达朗贝尔原理、从达朗贝尔原理推导拉格朗日方程	152
§34. 约尔旦原理	155
§35. 高斯最小约束量原理	156
§36. 从拉格朗日方程角度出发的力学相似性	157
§37. 弦的振动与音乐的和谐	159
§38. 膜的振动	163
§39. 狭义相对论的拉格朗日量	164
思考题和补充材料	171
参考文献	178
第四篇 哈密顿力学	179
篇首语	180
§40. 勒让德变换	181
§41. 哈密顿正则方程	183
§42. 相空间	190
§43. 罗斯方法 —— 混合的哈密顿-拉格朗日方法	192
§44. 泊松括号	197
§45. 哈密顿-雅可比方程	208

§46. 用哈密顿-雅可比方程推导定态和含时薛定谔方程	220
§47. 狭义相对论的哈密顿量	223
思考题和补充材料	224
参考文献	233
第五篇 连续介质力学与非线性力学初步	237
篇首语	238
§48. 流变力学	240
§49. 胡克弹性、弹性力学初步	242
§50. 牛顿流体、流体力学初步	249
§51. 分形几何	258
§52. 分岔	264
§53. 混沌	268
§54. 涌现 (演生)	274
思考题和补充材料	276
参考文献	279
第六篇 生命力学	283
篇首语	283
§55. 生命体的简单标度关系	284
§56. 异向生长标度律	290
§57. 大脑中的力学	294
§58. 声带发声系统的力学	298
§59. 耳朵中的力学 —— 听觉的共振和行波学说	299
§60. 眼睛中的力学	301
§61. 脉搏中的力学 —— 脉搏波速度	306
思考题和补充材料	311
参考文献	315
第七篇 附录	317
篇首语	318
附录 A 常用符号	319
附录 B 微积分初步	321

附录 C 泰勒级数展开	337
附录 D 变分法	341
附录 E 齐次函数的欧拉定理	348
附录 F 物理学中的四只神兽	349
附录 G 基于快速匹配法的量纲分析	351
附录 H 和本书内容相关的科学大事年表	358
索引	365
人像索引	384

第一篇 经典力学概览

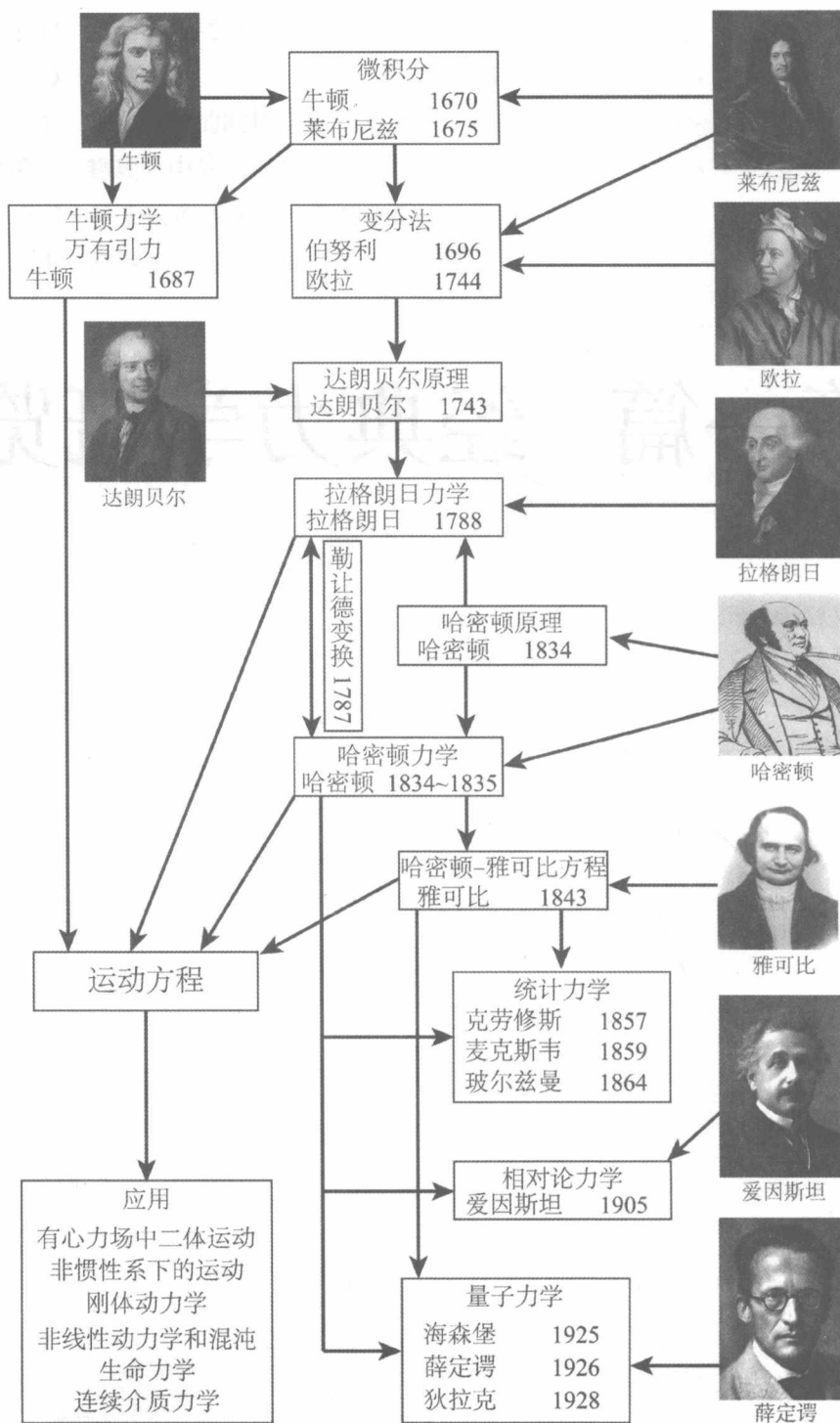


图 I 经典力学发展路线图

§1. 何谓经典力学?

力学可大致划分为: 经典力学、近代力学和现代力学.

经典力学又常常被称为古典力学, 英文均为: classical mechanics. 狭义地讲, 所谓经典力学是指创立于 1687 年的牛顿力学 (Newtonian mechanics)^[1.1]、创立于 1788 年的拉格朗日力学 (Lagrangian mechanics)^[1.2] 和创立于 1834 年和 1835 年的哈密顿力学 (Hamiltonian mechanics)^[1.3~1.5]. 其中, 牛顿力学着重分析位移、速度、加速度、力等线量矢量, 以及角位移、角速度、角加速度和矩等角量矢量间的关系, 故又称为矢量力学 (vector mechanics); 拉格朗日力学和哈密顿力学统称为“分析力学 (analytical mechanics)”. 和矢量力学形成鲜明对比的是, 长达 500 多页的拉格朗日的《分析力学》^[1.2] 中则没有一幅图, 自始至终采用的都是解析的方法.

一般地, 拉格朗日力学和哈密顿力学还经常地被称为“拉格朗日形式 (Lagrangian formalism)”和“哈密顿形式 (Hamiltonian formalism)”. 这里的“形式 (formalism)”或称“形式化”所强调的是其数学理论框架.

重大的科学发现既需要难得的历史机遇同时也需要深邃的眼光. 1687 年, 牛顿 (Isaac Newton, 1642~1727) 在其《自然哲学的数学原理》(*Principia*)^[1.1] 第三卷的前言中豪迈地指出: “现在我要演示世界体系的框架”. 拉格朗日 (Joseph-Louis Lagrange, 1736~1813) 曾对牛顿评价道: “牛顿是最杰出的天才同时也是最幸运的, 因为我们不可能再找到另外一次机遇去建立世界的体系 (Newton was the greatest genius who ever lived, and the most fortunate; for we cannot find more than once a system of the world to establish).”

爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879~1955, 1921 年诺贝尔物理学奖获得者) 在给牛顿的巨著《光学》1950 年的重印本所撰写的序言中指出: “幸运的牛顿, 幸福的科学童年! …… 他融实验者、理论家、机械师为一体, 同时又是阐释的艺术家. 他以坚强、自信和孤独的姿态屹立在我们面前 (Fortunate Newton, happy childhood of science! … In one person he combined the experimenter, the theorist, one mechanic and, not least, the artist in exposition. He stands before us strong, certain, and alone).” 英国诗人、画家威廉·布莱克 (William Blake, 1757~1827) 于 1795 年的牛顿画像如图 1.1 所示.

拉格朗日和爱因斯坦对牛顿的上述评价均表明, 作为科学家生活在一个有重大问题需要解决的时代是幸运的, 但洞察力和解决问题的能力同样不可或缺.

十九世纪, 力学各主要分支学科 (如连续介质力学、固体力学、流体力学等) 得

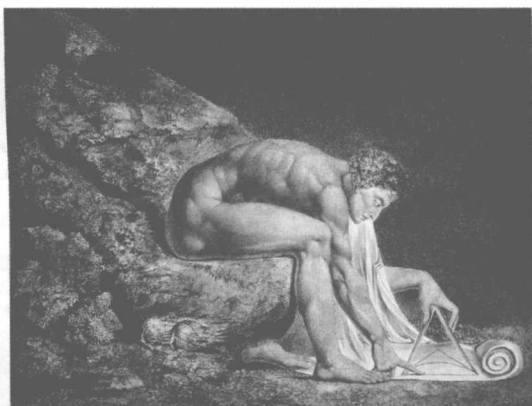


图 1.1 英国诗人、画家威廉·布莱克于 1795 年的牛顿画像

以建立并有不同程度的发展。

二十世纪上半叶, 物理学发生了巨大变化. 狭义相对论、广义相对论以及量子力学的相继建立, 冲击了经典物理学. 前两个世纪中以力学模型来解释一切物理现象的观点, 也就是唯力学论, 不得不退出历史舞台. 经典力学的适用范围被明确为宏观物体的远低于光速的机械运动, 力学进一步从物理学分离出来成为独立的学科.

图 1.2 给出了经典力学六位代表性大科学家的生活年代, 值得注意的是, 伽利略去世和牛顿诞生于同一年 —— 1642 年 (即: 伽利略死、牛顿生); 麦克斯韦去世和爱因斯坦诞生于同一年 —— 1879 年 (即: 麦克斯韦死、爱因斯坦生).



伽利略 (1564~1642)

将在伽利略变换下所有的不变性质, 称为经典力学. 有关伽利略变换和不变性的内容, 见本书 §13 和 §29.

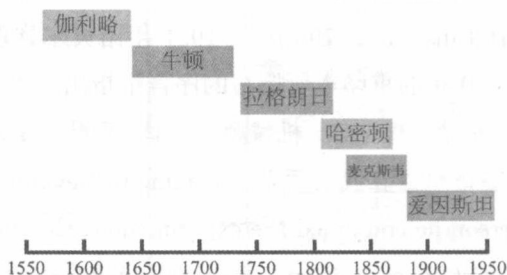


图 1.2 经典力学六位代表性科学家的生活年代

伽利略 (1564~1642); 牛顿 (1642~1727); 拉格朗日 (1736~1813); 哈密顿 (1805~1865); 麦克斯韦 (1831~1879); 爱因斯坦 (1879~1955)

一个经常提到的科学历史典故是, 牛顿于 1676 年 2 月 5 日给胡克的回信中的

名言: “If I have seen further it is by standing on the shoulders of giants (如果我看的更远的话, 那是因为我站在巨人的肩膀上).” 我们在这里已经没有必要再纠缠牛顿是否用此来挖苦他的学术竞争对手胡克的身高或者驼背等细节, 如图 1.3(a) 所示, 牛顿确实站在了笛卡儿、亚里士多德和胡克三位科学的巨人的肩膀上!

那爱因斯坦又站在谁的肩膀上? 这自然是一个十分有趣的话题. 二十世纪二十年代的一天, 剑桥大学某位物理学家作为接待者, 恭维来访的爱因斯坦说: “你站在了牛顿的肩膀上 (You stand on Newton’s shoulders)”, 爱因斯坦却回答说: “不, 我是站在麦克斯韦的肩膀上 (No, I stand on Maxwell’s shoulders)!” 如图 1.3(b) 所示. 爱因斯坦的回答十分中肯, 也确切地表达了他的物理思路 and 兴趣所在都是追随麦克斯韦的足迹. 爱因斯坦的主要成就: 两个相对论中, 狭义相对论显然是为了解决麦克斯韦电磁理论与经典力学的矛盾才得以建立的, 而广义相对论则是前面思想之延续. 从爱因斯坦在 1905 年发表的另一篇关于布朗运动的文章, 可以看出他也热衷于麦克斯韦曾经致力研究过的分子运动理论. 在 §39 中, 还将提到, 爱因斯坦在 16 岁时的追光的思想实验就和麦克斯韦方程组密切相关.

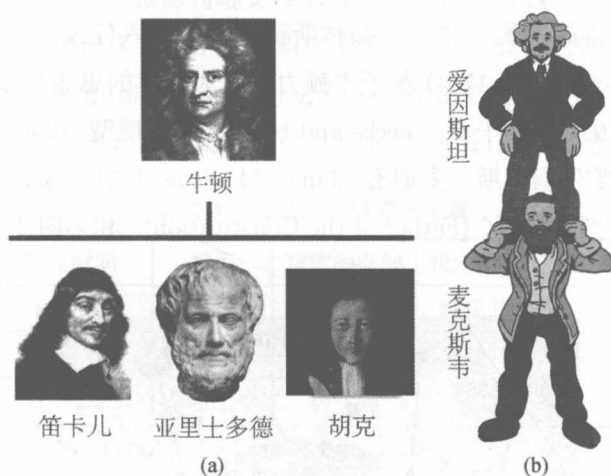


图 1.3 (a) 牛顿站在三位巨人的肩膀上; (b) 爱因斯坦站在麦克斯韦的肩膀上

钱学森认为, 近代力学是指从 1910 年到 1960 年所发展起来的应用力学, 它和工程技术特别是航空、航天技术密切联系并得到了广泛的应用.

钱学森认为, 现代力学主要是指 1960 年后, 随着计算机的快速发展, 力学同计算技术和自然科学其他学科广泛地结合乃至融合, 宏观和微观进一步结合.

当然, 各个时期的分界年代并不是绝对的. 当代一些主流的经典力学教材已将



朗道、栗弗席兹

相对论和混沌等内容纳入其中。

物理学家朗道 (Lev Davidovich Landau, 1908~1968, 1962 年诺贝尔物理学奖得主) 和他的学生栗弗席兹 (Evgeny Mikhailovich Lifshitz, 1915~1985) 合著的理论物理学教程十卷中的第一卷《力学》^[1.6] 只讲授分析力学的内容; 数学家阿诺尔德 (Vladimir Igorevich Arnold, 1937~2010) 著的《经典力学的数学方法》^[1.7] 中, 牛顿力学只占少部分内容, 其余大部分内容为分析力学。另外, 该书在辛流形 (symplectic manifold) 上建立了哈密顿力学, 使哈密顿力学现代化。

在本节的最后需要着重指出的是, 牛顿力学曾对政治产生过极其重要的影响。牛顿力学创建的 40 年后, 牛顿的实验助手约翰·西奥菲勒斯·德萨吉利埃 (John Theophilus Desaguliers, 1683~1744) 于 1728 年出版了《世界的牛顿体系, 政府的最佳模型——一首寓言诗》^[1.8] 的专著, 提出了“牛顿政府 (Newtonian government)”的理想概念, 这是第一次将牛顿三定律的思想纳入到政府和社会管理中。后来, “社会力学 (social mechanics)” 又称“社会物理学 (social physics)”、“政治力学 (political mechanics)” 以及“牛顿社会学 (Newtonian sociology)” 等交叉学科相继而生。

美国独立宣言的签署人之一、普林斯顿大学的第六任校长约翰·威瑟斯彭 (John Witherspoon, 1723~1794) 基于牛顿力学三大定律的思想构建了三权分立及各政府机构间相互制约和平衡 (checks and balances) 的模型, 1769 年, 当时在普林斯顿大学就读的学生詹姆斯·麦迪逊 (James Madison, 1751~1836) 接受了该思想, 后来成为美国的“宪法之父 (Father of the Constitution)” 和第四任总统, 他在美国

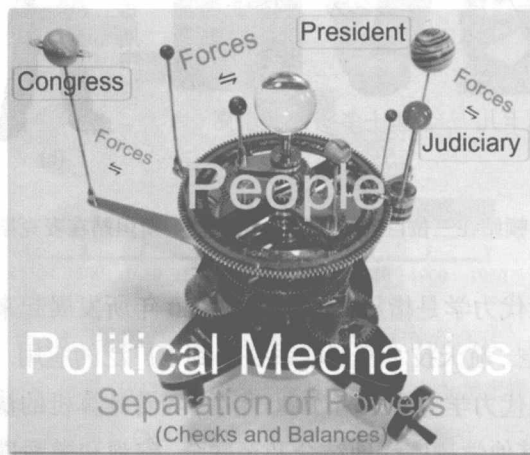


图 1.4 美国宪法中的政治力学——基于牛顿力学的分立和相互制衡