

从物理测量到物理理论

CONG WULI CELIANG DAO WULI LILUN

乔灵爱◎著

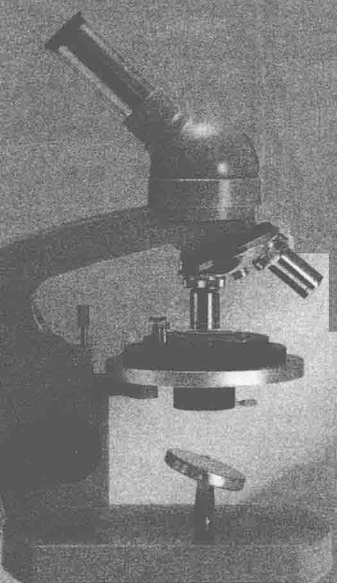


山西出版集团
山西科学技术出版社

从物理测量到物理理论

CONG WULI CELIANG DAO WULI LILUN

乔灵爱◎著



山西出版集团
山西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

从物理测量到物理理论/乔灵爱 著. —太原:山西科学技术出版社, 2007. 6

ISBN 978-7-5377-3001-3

I. 从... II. 乔... III. 物理学—实验 IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 092633 号

从物理测量到物理理论

乔灵爱 著

出 版:山西出版集团·山西科学技术出版社

(太原建设南路 21 号 邮编:030012)

发 行:山西出版集团·山西科学技术出版社(电话:0351-4922121)

经 销:各地新华书店

印 刷:山西省建筑科学研究所印刷厂印刷

开 本:850×1168 1/32 印张:8.625

字 数:210 千字

版 次:2007 年 6 月第 1 版

印 次:2007 年 6 月太原第 1 次印刷

印 数:1-1000 册

书 号:ISBN 978-7-5377-3001-3

定 价:26.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与发行部联系调换。

本书受“山西省高校科技研究开发项目”

资 助 出 版

项目编号[200631029]

序 言

物理学是研究自然界中的物质结构、物体间的相互作用和物质运动变化的一般规律的学科。今天我们所看到的物理学,是人类文明进程中比较晚的一个结果。即便是离我们较近的现代物理学,诚如爱因斯坦所言:“结论几乎总是以完成的形式出现在读者面前。读者体验不到探索和发现的喜悦,感觉不到思想形成的生动过程,也很难达到清楚地理解全部情况”。如此状况,一方面使得人们不能全面地理解物理学,另一方面又阻止了物理学走向大众。对此类问题解决的一个方案,就是走进物理学的历史领域,探求物理学发展的基础、源泉。我想本书在这方面应该能发挥其作用。

同时,物理学也是以实验为基础的学科。物理学中的概念、定律或公式都有一定的实验基础,对物理学理论预言的实验证实也是实验物理学家追求的一个重要方向。然而,令人遗憾的是,我们所看到的物理学著作,更多的是把物理学描述成是由一系列定律与原理组成的完美的理论体系,需要涉及实验的地方也只是对实验原理的简单介绍,而物理学家提出概念、形成理论的生动过程、历史上著名的科学之争以及实验设计中的创造性因素,很少得以体现。

任何物理实验,都离不开对物理现象的观察或对物理量的测量。传统的物理学史研究,主要是围绕物理理论的产生与演变展开的,既不讨论观察事实的形成过程,更少关注测量问题。事实上,测量始终是科学研究不可缺少的重要手段之一。不论是理论的形成,还是理论的更替,都必然与测量事实相关。而且,相对于

理解科学而言,理解测量要比理解理论更基本、更具体。因此,回到测量基底,基于对科学家测量观的具体考察,展开关于测量问题的系统研究,重新论证物理学理论与物理测量的关系,是一件有意义的事情。

现在,呈现在读者面前的《从物理测量到物理理论》一书,第一次从物理测量的实验活动中,分析了物理学定律产生的现实过程。这种研究方式,弥补了物理学的理论与实验测量相脱节的缺陷。从整体上看,本书首先立足于鲜活的物理学史,把物理学定律与实验测量联系起来,立体地阐述了不同时期物理学理论的基本思想的产生与演变过程,展现了大师思想的演进过程;其次,尽可能地基于原始材料,分别从实验设计思路的形成和实验操作的具体过程,讨论了物理学定律的形成历程,生动地再现了物理学家当时的研究动机,演绎了物理学发展的历史画卷,揭示了从物理测量到建立物理理论的复杂性。本书既不同于物理学史,又不同于一般的实验讨论。作者站在测量思想史的高度,着眼于对实验测量历史的透彻研究,这给读者提供了一个认识的起点,从这一出发点可以而且应该进一步去探讨现代物理学问题,后者乃是一个值得系统而认真探索的研究领域。因此,在探索物理实验作为物理学的基础方面是有所前进的。

本书是作者基于自己二十多年的物理学教学体验和长期对物理学史与物理哲学的系统研究撰写而成的。书中所做的以点带面的历史勾勒,不拘形式的论述,平添了对物理学知识的可读性。

成素梅

2007年5月5日于山西大学

导 言

众所周知,物理学是一门实验科学。任何物理实验都离不开对物理现象的观察或对物理量的测量。典型的物理实验会产生出一个或一套测量,典型的假说采取测量陈述形式的预言而成为可检验的事实。物理测量在物理学理论的发现和验证两个层面上为物理理论服务。在物理学发展史上,许多关键问题的解决,最终总要诉诸实验测量,越是权威性的物理学理论,越具有坚实的实验测量基础。从这个意义上讲,正如坎贝尔(N. Campbell)指出的那样:“物理学就是关于测量的科学”^①。

所谓测量,从根本意义上讲,就是一种形式的观察^②。物理测量,一方面“读出”了实验设计中测量对象的量;另一方面在表征的意义上,确立了经验事实的可能描述。测量结果不是被动地对信息的接受,而是对测量系统积极的解释和说明,是对科学方法论有目的的运用。对测量进行解释的过程,就是揭示物理实在的本质的过程。正是在这个意义上,物理测量构成了物理学理论推演和理论逻辑变换的前提和基础。

在相对论尤其是量子力学兴起前,关于测量的概念似乎并没有引起什么人的注意。而在现代物理学,尤其是在量子力学中,测量是人们一再谈到的问题,逐渐引起了科学家和哲学家们的关注,并成为热门的研究课题。

事实上,测量始终是物理学研究不可缺少的重要手段之一。

^① 郭贵春,刘士义.测量实在论——“后实在论”发展浪潮中的一支劲旅.自然辩证法通讯,1992(6):9~16

^② 成素梅.从测量解释理论到测量哲学的兴起.河池学院学报,2007,27(1):1~5

不论是物理学理论的形成,还是物理学理论的更替,都必然与实验测量相关联。应该说,自从人类有了文字记载的历史,就有了测量的技艺。不过,在伽利略之前,实际测量的历史几乎都属于技术领域而不属于科学,是伽利略将测量引入了科学^①。

随着当代科学的发展,一方面科学认识的层面越来越深入到了不可观察的微观世界,另一方面科学理论的形式则愈来愈远离经验。在这样的背景下,测量实验便成为整个科学认识过程中的一个重要步骤和环节。在这种背景下,回过头来,以测量为视角,研究物理学理论与物理测量的关系,是一件非常有意义的事情。同时,更是科学史研究者的使命和责任。这正是作者撰写本书的初衷与出发点。

《从物理测量到物理理论》一书,是作者对物理学史特别是实验物理学史及物理哲学多年潜心钻研思考的结果。物理学的发展经历了古代物理学、经典物理学与现代物理学三个阶段。从现代物理学的发展趋势看,不论“知识陈旧”^②的呼声多么强烈,不论最早成熟起来的经典物理的适用范围受到怎样的限制,也不论它的测量方法多么粗糙,但它自始至终在科学的殿堂中占有一席之地。

遵循这一思路构起的框架,本书选取了经典物理学和现代物理发展史上与物理学理论的确立有着密切关系的二十五个里程碑式的实验进行阐释。全书分五章,按照力学、热学、光学和电磁学以及现代物理学依次展开。本书的工作是在物理实验史与科学认识论的中间环节上进行探讨,希望能兼顾实践与认识两方面。本书的特点是:

①以历史上重要的物理实验的测量观察为切入点,探讨物理测量与物理定律(理论)形成的关系。

① 董光壁,田昆玉.世界物理学史.长春:吉林教育出版社,1994.281

② 成素梅.论科学实在.北京:新华出版社,1998.49

②对每个专题,分别从实验测量背景、实验设计思想、实验方法、实验测量结果与历史沿革等方面进行阐述,探讨实验测量结果与物理理论的关系。

③鉴于原始文献史料,从测量的角度进行阐释,突现物理测量具有的价值,揭示物理测量在物理学发展中的作用。

④为了比较全面地了解物理学实验在物理学发展中的作用,附录中收入了公元16~20世纪历史上的重要物理实验,以供读者参阅。

贯穿全书的重点是寻求经典物理学与现代物理学发展中理论与实验测量的结合点,全书用历史的观点勾画了实验测量思想在物理学发展中的时代气息和历史脉络,既阐释实验测量在发现、检验理论方面的基础作用,同时又探求物理理论对实验测量研究的指导和建构作用。就个案而言,本书一方面着眼于对其实验历史进行更透彻的研究——结合物理学发展史、物理学思想史分析实验测量的历史背景、社会条件及思想渊源;另一方面,本书追求一种对物理学实验测量的返璞归真——尽量立足于原始文献进行研究,书中涉及的所有关键的测量都引用了实验者的原始测量数据进行分析阐述,同时,收录了较多的原始插图,通过图文并茂,获得更多的感性认识。此外,本书更多地从方法论角度阐释其创造性的工作,突出实验测量的整体设计思想,并围绕实验测量的争论、实验测量对理论的支持程度阐释测量的思想价值。

本书的主要目的在于,通过对物理学理论和物理学实验测量的内在本质、发展脉络等方面的综合考察,尽可能客观地揭示实验测量如何在物理学理论的一步步建立中所起的基础性作用,再现物理学家在提出物理学理论或形成物理学定律时的实验测量情境,把抽象的理论思考与具体的测量操作联系起来,阐述物理学理论与定律的客观性等问题。本书的这种写作风格只是一种尝试,

一定会有许多不足之处,诚恳地希望得到读者的批评和指正。

本书受到山西省高校科技研究开发项目资助。在本书的编写过程中,得到山西大学科学技术哲学研究中心成素梅教授的支持、鼓励和指导,她对本书的撰写框架、具体内容等方面都提出了建设性的意见,在此特表深切谢意!同时,作者还参阅了诸多专家、学者的论文、论著,在此一并致谢!

本书可供物理及物理学史工作者、理工类专业学生以及对物理学发展感兴趣者阅读参考。

目 录

第一章 经典力学定律与实验测量/1

第一节 斜面实验与落体定律/2

第二节 碰撞实验与力学运动量定律/13

第三节 引力常数的测量与万有引力定律/19

第二章 热学理论与实验测量/31

第一节 空气弹性的测量与玻意耳定律/32

第二节 焦耳热功当量的测定与能量守恒定律/40

第三节 布朗运动的测量与分子运动论/51

第四节 分子束实验与麦克斯韦分子速度分布律/60

第三章 光学理论与实验测量/69

第一节 折射实验与光的折射定律/70

第二节 牛顿的色散实验与光的颜色理论/74

第三节 光速的测量与物理学理论的发展/84

第四节 杨氏实验与光的干涉原理/93

第五节 菲涅耳实验与光的波动理论/104

第四章 电磁学定律与实验测量/117

第一节 库仑实验与库仑定律/118

第二节 奥斯特实验与电流的磁效应/127

第三节 安培实验与安培定律/133

第四节 欧姆实验与欧姆定律/139

第五节 法拉第实验与电磁感应定律/147

第六节 赫兹实验与麦克斯韦电磁场理论/160

第五章 现代物理学理论与实验测量/175

第一节 J. J. 汤姆逊荷质比的测定与电子的发现/176

第二节 密立根油滴实验与基本电荷的测定/187

第三节 迈克耳逊—莫雷实验与狭义相对论/199

第四节 厄缶实验与引力理论/210

第五节 康普顿效应与光量子理论/215

第六节 夫兰克—赫兹实验与能量量子化理论/227

第七节 电子衍射实验与德布罗意物质波理论/238

附录 重要物理实验年表/250

主要参考文献/259

第一章

经典力学定律与实验测量

物理学最早成熟起来的理论是以经典力学为代表的经典物理学。在力学定律形成前，人们主要对落体和碰撞两种运动现象比较重视，并进行了深入系统的研究。人类因为打开了这两扇大门，才建立了运动定律、万有引力定律和运动量守恒定律。

伽利略对落体现象的研究，做了开创性的工作，其中最重要的是他把经典力学理论大厦建立在牢固可靠的科学实验基础之上。对碰撞现象的实验研究工作，则是由不同国家的诸多科学家完成的。经典力学随着牛顿运动定律和万有引力定律的提出以及万有引力常数的准确测量，逐渐发展成为精密的学科，大批的学者不再满足于对自然现象的消极观察和对物理知识的简单归纳，开始走向更积极的实验研究和更细致的定量测量分析。本章所关注的正是经典力学体系中，与运动定律、碰撞定律和万有引力定律相关的实验测量问题。

第一节 斜面实验与落体定律

16 世纪以前,人们对“运动”的认识,亚里士多德的观念起着主导作用。之后,这一观念逐渐受到一些杰出科学家的尖锐批评。对这一理论的检验和批判,成为 16、17 世纪力学发展的重要起点。在纠正亚里士多德的错误观点与探索知识的新途径方面,作出突出贡献的当推伽利略,他是第一个成功地打破亚里士多德错误权威的人,作为古代自然哲学和近代科学之间的过渡人物。伽利略对力学问题作出了一系列精辟的论述,伽利略的斜面实验确立了关于形式推论和实验检验之间、理论和实践之间的关键性关联,并建立了经典物理学的第一个定律——落体定律。斜面实验被认为是早期实验方法的典型,成为后世整个自然科学研究方法的向导。

【实验背景】

伽利略(Galileo Galilei)斜面实验的提出,源于他对物体运动规律的研究。1564 年,伽利略出生于文艺复兴的发源地意大利。当时正值思想大解放时期,哥白尼(Copernicus)的日心说直接冲击着人们宗教观念的整个体系;文艺复兴时期,实验作为探索科学的道路,认识自然的手段,开始得到人们的重视。弗兰西斯·培根(F. Bacon)大力宣传实验的重要性,极力反对经院哲学,这些活动为伽利略的研究作了准备。

伽利略早期的运动学思想以及自然科学方面的众多建树是在古希腊、中世纪乃至文艺复兴等各个时期的哲学思想、著作、科学成果的肥沃土壤上培育出来的。

1585—1589 年,伽利略钻研了古希腊的哲学和科学著作,特

别是欧几里得(Euclid)和阿基米德(Archimed)的著作。阿基米德的著作对伽利略的影响体现在两方面:其一,是渗透在《浮力论》一书中的数学和实验方法、公理化方法以及抽象和理想化方法;其二,是阿基米德比任何其他古代科学家都更多地注意把他所探讨的科学理论、原则和技术与实际生活联系起来。此外,古希腊哲学家柏拉图(Plato)关于毕达哥拉斯主义的思想也潜移默化地影响着他。

伽利略关于落体问题的关注与思考,早在他任比萨大学教授之前就已经广泛展开了。在《论运动》的手稿中,他对亚里士多德的自然哲学产生了怀疑,他的许多篇章的标题都直接挑战亚里士多德的理论结论。伽利略最早通过“落体佯谬”^①,对亚里士多德的运动理论提出诘难,他以对话的形式写道:

“萨:我十分怀疑亚里士多德确实曾经用实验检验过下面这个论断:如果让两块石块(其中之一的重量十倍于另一块的重量)同时从比如说100腕尺(cubit)高处落下,那么这两块石头下落的速率便会不同,那较重的石块落到地上时,另一块石头只不过下落了10腕尺。”

“萨:但是,即使没有进一步的实验,也能用简短而决定性的论证清楚地证明,假如有两个物体是同一材料制成的,那么其中较重物体并不比较轻物体运动得快。”

接着,伽利略又利用亚里士多德自己的逻辑推理方法,巧妙地得出了否定他的理论的结论:

“如果我们取天然速率不同的两个物体,显而易见,如果把那两个物体连接在一起,速率较大的那个物体将会因受到速率较小物体的影响,其速率要减慢一些;而速率较小的物体将因受到速率

^① [美]G. Holton. 物理科学的概念与理论导论(上册). 张大卫译. 北京:人民教育出版社,1982. 125~126

较大物体的影响,其速率要加快一些。”

“但是,如果这是对话,并假定一块大石头以(比如说)八的速率运动,而一块较小的石头以四的速率运动,那么把二者连在一起,这两块石头将以小于八的速率运动。但是,两块连在一起的石头当然比先前以八的速率运动的要重。可见,较重的物体反而比较轻的物体运动得慢。而这个效应同你的设想是相反的。你由此可以看出,我是如何从你认为较重物体比较轻物体运动得快的假设,推出了较重物体运动较慢的结论来。”

伽利略由此揭示了亚里士多德理论的破绽和逻辑混乱,尔后,他又否定了亚里士多德把运动分成自然运动和强迫运动的分类方法。伽利略相继分四个过程研究、描述自然运动,并逐步建立了科学的运动理论体系。首先,他从运动的基本特征量速度和加速度的概念出发,把运动分成匀速运动和变速运动,创立了匀加速运动的概念;其次,提出自然界发生的自由落体运动是匀加速运动的假说;第三,在假设的基础上,进行了严格的数学推理,以描述这种运动;第四,提供了应用于特殊情况的验证性实验,对其定量结论进行检验。

伽利略早在比萨时,就开始致力于解决落体问题,在帕多瓦他亦继续关注这个问题,他非常了解落体甚至所涉及的新科学的一些基本理论。1604年,他在写给保罗(Polo)的信中写道:“要对我所观察到的一些运动现象进行说明,我缺乏可以当作公理的完全不容怀疑的原理,因此反映在运动的问题上,我得出了一个最自然和明显的假设,而且在这个假设之下,我可以解释其他的东西,那就是在自然运动中所通过的距离正比于时间的平方,因而在相等的时间内通过的距离是奇数关系”^①。

^① [法]柯依列.伽利略研究.李艳平,张昌芳,李萍萍译.南昌:江西教育出版社,2002.62

伽利略以自然界单一效应的简单性的信念为基准,认为自由落体是一种最简单的变速运动,他给出了自由落体的定义,并把它作为公理前提;之后,又作出了同一物体沿不同倾角的斜面落下时,斜面的高度与落下速率之间关系的假定,伽利略的动力学全部基于这一公设;他把平均速度的命题作为定理 1,把下落距离正比于下落时间平方的命题作为定理 2,把相继相等时间里通过的距离成从 1 开始的奇数序列的规律作为定理 2 的一个推论;他从前提(定义)出发,利用几何方法证明了定理 1,借助于定理 1,证明了定理 2,并导出它的推论,从而得出下落距离同下落时间关系的落体定律。

附录①:

定义:从静止开始的匀加速运动物体的动量,在相等的时间内,得到相等的增加。

假定:同一物体,在沿着各种不同倾角的斜面落下时,如果这些斜面的高度相等,则落下的速率亦相等。

定理 1:一个物体,从静止起,以匀加速度在任何空间通过,其所需时间,与同一物体以平均速率在同一空间通过所需的时间相等。

定理 2:物体从静止点降落,以匀加速度运动,其所通过的各空间距离,与通过各个距离所需要的时间的平方成正比例。

推论 1:在同等的时间间隔内,速度的增加像自然数的增加一样,而在这些同等的时间间隔内所通过的空间距离的增加,其比率与从 1 开始的奇数的比率相同。

伽利略在研究自然落体运动的过程中,从观念上摆脱了亚里士多德和中世纪的科学家专注或偏重于质的讨论,大胆地放弃了

① [美]威·弗·马吉.物理学原著选读.蔡宾牟译.北京:商务印书馆,1986.7~13