

郭奕玲 沈慧君 编著

著名经典物理实验



北京科学技术出版社

0.1-09

347849

98

著名经典物理实验

郭奕玲 编著
沈慧君



北京科学技术出版社

内 容 简 介

本书从众多著名物理实验中选取了三十个有代表性的范例，介绍其历史背景、物理思想、实验方法、研究经过及所起的作用。

本书引用了大量原始资料和历史图片，史料丰富，内容翔实，对教学和研究都有参考价值。可作为大、中学物理教学的课外读物，也可供物理学史和自然辩证法工作者阅读。

DIV56/18

著名经典物理实验

郭奕玲 沈慧君 编著

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南顺城街12号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

固安县印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.625印张 168千字

1991年1月第一版 1991年1月第一次印刷

印数1—3650册

ISBN7-5304-0793-7/G·17 定价 3.20元

目 录

引言	1. 什么是实验?.....	(1)
	2. 实验在物理学发展中的作用	(2)
一	伽利略的落体实验和斜面实验.....	(9)
二	碰撞的实验研究.....	(22)
三	库仑的扭秤实验和摩擦实验.....	(27)
四	胡克的弹性实验.....	(37)
五	傅科摆实验.....	(40)
六	引力常数的测定.....	(43)
七	厄缶的质量等价实验.....	(49)
八	量热学实验.....	(58)
九	摩擦生热实验.....	(62)
十	焦耳的热功当量实验.....	(66)
十一	分子速度分布律的发现和验证.....	(75)
十二	布朗运动的发现和研究.....	(92)
十三	佩兰实验.....	(96)
十四	库仑定律的发现和检验.....	(104)
十五	电流磁效应的发现.....	(116)
十六	安培的电动力实验.....	(119)
十七	电磁感应的发现.....	(124)
十八	罗兰实验.....	(131)
十九	赫兹的电磁波实验.....	(137)
二十	牛顿的色散实验.....	(145)
二十一	杨氏干涉实验.....	(151)

二十二	光速的测定.....	(155)
二十三	以太漂移的早期实验.....	(168)
二十四	迈克尔孙—莫雷实验.....	(176)
二十五	洛奇的转盘实验和磁流实验.....	(187)
二十六	特劳顿的电容转矩实验和电阻实验.....	(197)
二十七	单极感应实验.....	(209)
二十八	光谱的研究.....	(220)
二十九	法拉第效应的发现.....	(226)
三十	罗兰和凹面光栅的发明.....	(230)
	参考文献.....	(236)

II

引 言

1. 什么是实验？

实验是人们根据研究的目的，运用科学仪器，人为地控制、创造或纯化某种自然过程，使之按预期的进程发展，同时在尽可能减少干扰客观状态的前提下进行（定性或定量的）观测，以探求自然过程变化规律的一种科学活动。

实验和观察有共同点，都是科学实践中搜集事实、取得经验的途径。但二者也有所不同，前者要求人们发挥主观能动作用，改变客观状态和进程，控制条件，使自然现象的变化更有利于得出规律性的认识；而后者只是被动地等待自然按其本来的进程发展，对现象进行记录和研究。所以，实验和观察是两种层次不同的认识手段，起着不同的作用，它们都是不可缺少的。

实验和生产劳动也有根本区别。诚然，两者都有改造世界的任务，但目的不一样。前者是在科学理论指导下的探索性活动，离不开理论思维和分析、判断。后者以直接变革自然、达到增加物质财富为目的，并不要求科学成果。实验工作中有劳动成份，但它与生产物质财富的劳动有本质的不同。

关于实验的性质，我国著名物理学家张文裕先生有过精辟的论述：⁽¹⁾

(1) 引自郭奕玲、沙振舜等编著：《著名物理实验及其在物理学发展中的作用》（山东教育出版社，1985）。

“物理学研究的对象是‘物’，要研究‘物’，就必须变革‘物’，并观察其变革后的反应。这样，既要‘变革’，又要‘观测’，自然就需要进行科学实验。”

2. 实验在物理学发展中的作用

纵观物理学三百余年的发展史，实验确是物理理论的基础和源泉，也是物理学发展的基本动力。从经典物理学到现代物理学，著名的物理实验何止千百个，历代多少物理学家置身于艰苦的实验中，他们的目的是什么？起了什么推动作用？有什么价值？概括说来，可以有如下几方面的内容：

（1）发现新事实，探索新规律

伽利略的单摆实验和斜面实验为研究力学规律提供了依据；库仑通过滑板提出摩擦公式；胡克的弹性实验、玻意耳的空气压缩实验、波雷里的表面张力实验为物性学提供了新事实、建立了新规律。

在电学方面事例更多，库仑定律的建立、欧姆定律的建立、奥斯特发现电流磁效应、伽伐尼和伏打发现动物电和化学电源、法拉第发现电解定律和电磁感应定律，无一不是通过大量实验做出的。

光的干涉、衍射、偏振以及双折射等现象也都是首先在实验中发现的，这些实验说明了光的波动性；从色散的研究到光谱学的发展，实验更是基本的认识途径，正是这一系列研究把人们带进了原子领域。

19世纪末，经典物理学发展到了相当完善的地步，人们纷纷认为物理学已经发展到了顶点，以后只是把常数测得准些，向小数点后面再推进而已。然而，正是实验的新发现打

破了沉闷的空气，揭示了经典物理学的严重不足。在19、20世纪之交的年代里，X射线、放射性和电子的发现接踵而至，开拓了新的领域，物理学孕育着一场新的伟大革命。

物理学有许多分支，它们汇合起来组成了物理学的干流，每个分支在其发展之初，都有大量的实验为其奠基。物理学各个分支在发展的各个阶段又有众多的实验不断补充新的事实。这一切说明了：实验，只有实验，才是物理学的基础。

（2）检验理论，判定理论的适用范围

无庸置疑，理论是物理学的主体。理性认识高于感性认识，更具有普遍性，理性认识才可以达到事物内部的规律性。然而，理论是否正确，又必须经受实践检验，实验是人们检验理论的重要手段。例如：麦克斯韦的电磁场理论以一组简捷的数学方程来概括，优美对称，但当时却很少有人相信。他预言的电磁波直到1887年才被赫兹的实验证实。从这以后，麦克斯韦的学说才成为电磁理论的基础。

1905年，爱因斯坦的光电子假说总结了光的微粒说和波动说之间长期的争论，能很好地解释勒纳德等人的光电效应实验结果，但是直到1916年，当密立根以极其严密的实验全面地证实了爱因斯坦的光电方程之后，光的粒子性才为人们所接受。

同样，德布洛意的物质波假说也是在电子衍射实验发现以后才得到肯定。

此外，从诺贝尔物理奖的颁发可以看到实验检验的意义。请看下页表。

的确，实践是检验理论的客观标准。一个理论的正确性，不仅在于它能说明多少现象，也不仅在于它的自洽性，

获奖者及其获奖内容	主要工作年代	实验验证年代	获奖年代
爱因斯坦光电子理论	1905	1916	1921
德布洛意物质波理论	1923	1927	1929
汤川秀树介子理论	1935	1947	1949
李政道、杨振宁宇称不守恒原理	1956	1956	1957
温伯格—萨拉姆—格拉肖的弱电统一理论	1967—1968	1973—1973	1979

更重要的是它所作的预言，被尔后的实验证实到什么程度。

再有，理论有一定的适用范围，这个范围往往也要由实验来确定。例如，玻意耳—马略特定律只适用于理想气体，因为雷尼奥的实验证明当气体压强增大时， pV 值要偏离常数。塞曼效应固然为洛仑兹电子论提供了用武之地，用这个理论从塞曼的观测推算出了带电微粒的荷质比，与几个月后 J.J. 汤姆生的阴极射线磁偏转所得结果，数量级正好吻合，从而肯定了洛仑兹电子论。但是，不久证实塞曼效应还有大量的反常现象，即所谓的反常塞曼效应，却得不到经典理论的解释，甚至玻尔的定态跃迁原子模型理论也无能为力。这个疑难曾困扰了物理学家达二十余年，直至1924年泡利还在为之苦恼⁽¹⁾。

斯特恩—盖拉赫实验证实了空间量子化的假设。但是同时也带来新的问题，揭示了经典理论用到原子内部有难以克服的内在矛盾。

再例如：热辐射中的卢默尔—普林海姆实验证明在高温长波方面，热辐射的能量密度有系统偏差，与根据经典理论

(1) 有一天泡利正在维也纳大街上漫步，他的朋友看到他丧气的样子，问他：“泡利先生，您为什么这样不高兴？”他答：“在物理学家面前，有塞曼效应这样的问题解决不了，叫我怎样高兴得起来。”

推出的维恩公式不符，迫使普朗克转向用统计方法来处理谐振子的能量分布问题，从而发现了能量子。

理论和实验是物理学的两个组成部分，缺少那一方面都是不可思议的。有句名言说得好：“没有实验，理论是空洞的；没有理论，实验是盲目的。”理论和实验之间是相辅相成的辩证关系。强调实验的作用，丝毫不意味着贬低理论的地位。

(3) 测定常数

常数在物理学中有重要意义。物理学研究的是“物”，这就会遇到许多与物质性质有关的量；量与量之间存在函数关系，在函数关系中必然会有一系列常数。例如：导热系数、比热、电阻率、电阻温度系数、折射率等等。确定这些常数要靠实验。这些常数在一定条件下会随某一因素改变，也要靠实验来测量。这一类叫物质常数。

另有一类常数叫基本常数。它是物理学领域中的一些普适常数，与物质无关。例如：真空中的光速、基本电荷、电子的荷质比、普朗克常数、里德伯常数、精细结构常数等等。基本物理常数是理论计算和实际应用中不可缺少的依据。

在物理学中，大量实验是围绕常数进行的。了解物质的物理性质要通过实验，其重要性自不待言。而基本常数的研究和确定，在物理学发展史上更占有极其重要的地位。例如：万有引力常数的数值，从牛顿发现万有引力定律以来，一直是人们力图测准的对象。焦耳测热功当量，历时三四十年，用了各种方法，得到大量数据，为热力学第一定律的建立提供了确凿的依据。这个常数现在已不列为基本常数，但是它的历史意义是不可抹杀的。光速是最古老的，也是测得最准

的基本物理常数之一,它现在可测得如此的精确,以至于1983年第17届国际计量大会决定以“光在真空中在 $1/299792458$ 秒的时间间隔内行程的长度”作为米的新定义,这样就从根本上免去了长度单位的物质基准。光以确定的有限速度传播,这个发现曾对光的电磁波理论有积极作用。从电磁波理论可以根据介电常数和磁导率计算光速,计算值和实验值吻合得相当好,当年麦克斯韦就是这样论证自己的理论的。

常数之间的协调是检验物理理论的重要途径,这从玻尔原子模型理论最初的遭遇可以找到例证。1913年玻尔第一篇原子理论的论文,在论证氢光谱的巴尔末公式可以由电子在轨道间跃迁的能量变化来解释时,利用已知常数代入相当于

$$R_{\infty} = \frac{\mu_0 m_e e^4 c^3}{8h^3}$$
的公式中,与光谱实验得到的里德伯常数

比较,在实验误差范围内基本相符。三个月后,他再次引用新发表电子电荷值 e ,使两者相符的程度更推进了一步。这一理论上的自洽使人们不得不认真考虑其合理性。

基本物理常数的协调是物理学也是科学技术的重大问题。从1929年提出的最小二乘法平差方法以来,连续进行了1929年、1939年、1948年、1955年、1965年、1969年、1973年和1986年几次调整。每一次调整都是在大量实验取得了众多研究新成果的基础上做出的。

(4) 推广应用,开拓新领域

如果说蒸汽机的发展超前于热学理论,电机和电气工业的发展则完全是在电磁理论建立之后自觉运用理论而实现的。然而不论是蒸汽技术,还是电工技术都离不开实验,其中包括许多热学、物性学实验和电磁学实验。各种发明创造,诸如杜瓦瓶、致冷机、电灯、电报等,无不经过了大量

的实验研究，才日臻完善的。

进入20世纪，无线电电子学异军突起，从无线电报的发送、接收，到二极管、三极管的发明，历经各种试验。半导体器件更是实验室的产物，科学理论通过实验这一中间环节，不断地起着改造世界的作用，包括补充和扩展理论自身。

从光谱学到激光，从电子显微镜到扫描隧道显微镜，无不凝聚了实验物理学家的心血。

也许现在最引人注目的是低温超导现象。超导性是1911年昂纳斯在研究低温下汞电阻变化情况的实验中发现的，后来又由迈斯纳在实验中发现超导体的完全抗磁性，为建立超导理论提供了基础。到了1986年，柏诺兹和缪勒通过实验发现某些氧化物陶瓷有可能呈现高临界温度超导性，于是在1987年兴起了全球性的超导热。这些工作当然主要是通过实验进行的。

总之，提供事实、验证理论、测定常数、推广应用这四个方 面基本上概括了实验在物理学中的作用。正如张文裕先生所论述的那样：“科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础。”他还说：“基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面要紧密结合在一起，必需有一条红线，这条红线就是科学实验。”⁽¹⁾

既然实验有举足轻重的作用，我们就应该把实验工作放在足够重要的地位。特别是作为发展中的社会主义国家，更应该对这一点有清醒的认识。为此，我们愿引丁肇中教授1976年荣获诺贝尔物理奖时所写的一封信。他写道：“中国有一句古话，‘劳心者治人，劳力者治于人。’这种落后的思想，对在发展国家的青年们有很大的害处。由于这种思想，

(1) 同第1页注。

很多在发展国家的学生们都倾向于理论的研究，而避免实验工作。”“事实上，自然科学理论不能离开实验的基础。特别，物理学是从实验产生的。”“我希望由于我这次得奖，能够唤起在发展国家的学生们的兴趣，而注意实验工作的重要性。”

丁肇中教授是因1973年用高能同步加速器发现J粒子而获诺贝尔奖的。特别值得提出的是，作为科学一年一度的最高奖励，诺贝尔物理奖从1901年伦琴因实验发现X射线而获奖以来，在八十七年中一共有130位（其中巴丁两度获奖）获奖者，其中因实验获奖者共88人，占68%。

再举一例说明实验和实验室的重要性。英国剑桥大学的卡文迪许实验室在近代物理学的发展中发挥了带头作用，与这个实验室有关的人员获诺贝尔奖（包括化学、生理学或医学）者竟达25人之多。

最后，我们再引用丁肇中教授1987年访问上海时谈的一段话：

“实验科学是科学技术中很活跃的部分。自然科学是实验科学，任何理论和自然科学现象不符合就不能存在。它是发展自然科学的重要基础和动力。

“搞实验物理学最重要的是要了解现有的物理理论，敢于怀疑它，以至通过实验推翻某些部分，创出新理论。实验物理和理论物理密切相关，搞实验没有理论不行，但只停留于理论不去实验，科学是不会前进的。”⁽¹⁾

这些话确是科学家们多年实践的经验总结，值得我们深刻领会！

(1) 引自“科技日报”，1987年5月5日第三版。

一、伽利略的落体实验和斜面实验

1638年，伽利略（1564—1642）的《两门新科学》一书的出版，揭开了物理学的新纪元。他在这本不朽的著作中整理并公布了三十年前他得到的一些重要发现。在1639年1月，这位年迈失明的作者口授了一封给友人的信，提到这本书时讲到：“^[1.1]“我只不过假设了我要研究的那种运动的定义及其性质，然后加以证实。…我声明我想要探讨的是物体从静止开始，速度随时间均匀增加的这样一种运动的本质。…我证明这样一个物体经过的空间（距离）与时间的平方成正比。…我从假定入手对如此定义的运动进行论证；因此即使结果可能与重物下落的自然运动的情况不符，对我也无关紧要。但是我要说，我很幸运，因为重物运动及其性质，一项项都与我所证明的性质相符”。他的这一席话对于后人了解他在运动学研究上作出种种发现的动因和真相也许会很有益处。

1. 伽利略为什么要研究自由落体

西方有一句谚语：“对运动无知，也就对大自然无知。”运动是万物的根本特性。在这个问题上，自古以来，出现过种种不同的看法，形成了形形色色的自然观。在16世纪以前，亚里士多德（Aristotle）的运动理论居统治地位。他把万物看成是由四种元素——土、水、空气及火组成，四种元素各有其自然位置。任何物体都有返回其自然位置而运动的性质，他把运动分成自然运动和强迫运动。重物下落是自然

运动，天上星辰围绕地心作圆周运动，也是自然运动；而要让物体作强迫运动，必需有推动者，即有力作用。力一撤除，运动即停止。既然重物下落是物体的自然属性，物体越重，趋向自然位置的倾向性也就越大，所以下落速度也越快。于是从亚里士多德的教义出发，就必然得到物体下落速度与物体重量成正比的结论。

亚里士多德的理论基本上是错误的，但这一理论毕竟是从原始的直接经验引伸而来，有一定的合理成份，在历史上也起过进步作用，再加上被宗教利用，所以直到15、16世纪，仍被人们敬为圣贤之言，不可触犯。

正因为这样，批驳亚里士多德关于落体运动的错误理论，不仅是一个具体的运动学问题，而且是涉及自然哲学的基础问题，是从亚里士多德的精神枷锁下解脱的一场思想革命的重要组成部分。伽利略在这场斗争中作出了非常重要的贡献。

2. 前 奏

伽利略于1564年出生在意大利一位贵族的家庭里，从小爱好文艺和科学。意大利是文艺复兴的发源地，此时正值思想大解放的时期。达·芬奇(Leonard da Vinci, 1452—1519)是文艺复兴中涌现出的杰出代表。他不仅是艺术家和工程师，还做过许多物理实验，主张在科学工作中多进行实验观察。与此同时，波兰人哥白尼(Copernicus, 1473—1543)主张日心说，公开向亚里士多德的信仰者挑战。继之，开普勒继承了他的老师第谷(Tycho Brahe, 1546—1601)的天文工作，整理出一套严格的行星运动规律——开普勒行星三定

律。英国人弗兰西斯·培根（F. Bacon, 1561—1626）大力宣传实验的重要性，极力反对经院哲学，所有这些活动都为伽利略的研究作了准备。

数学上也有人为新科学的诞生开辟道路。13—14世纪英国牛津大学的梅尔敦（Merton）学院聚集了一批数学家，对运动的描述方法作过研究。他们提出了平均速度的概念，后来又提出了加速度的概念，不过他们从未用之于落体运动。

亚里士多德关于重物速度快的结论与经验不符，理所当然地会受到科学家的实验检验。例如，就在伽利略所在的比萨（Pisa），也多次记载过落体问题，有人还进行过实验。伽利略有一位老师叫包罗（Borro），是哲学教授，在1575年出版的书中写道：“我们从窗口以同样的力投两个重量相同的物体，铅块慢于木块。”不过，可能他是抛出去的。

1544年，也曾有一位历史学家，记述有三个人对亚里士多德的落体思想表示怀疑。他们注意到亚里士多德的结论与实际经验不符。但书中没有描述具体的实验。意大利这股对亚里士多德学说怀疑之风肯定对伽利略是有影响的。

1576年意大利帕多瓦（Padua）有一位数学家叫莫勒第（G. Moletti），写了一本小册子叫《大炮术》，也是以当时惯用的对话方式进行论述的。其中有一段明确地提到落体运动，请看这一段对话：^{〔1.2〕}

“王子：如果从塔顶我们放下两个球，一个是重20磅的铅球，另一个是重1磅的铅球，大球将比小球快20倍。

作者：我认为理由是充分的，如果有人问我，我一定同意这是一条原理。

王子：亲爱的先生，您错了。它们同时到达。我不是只做过一次试验，而是许多次。还有，和铅球体积大致相等的

木球，从同一高度释放，也在同一时刻落到地面。

作者：如果高贵的大人不告诉我您做过这样的试验，我会不相信的。那好，可是怎样拯救亚里士多德呢？

王子：许多人都设法用不同的方法来拯救他，但实际上他没有得到拯救。老实告诉您，我也曾以为自己找到了一个办法来拯救，但仔细思考后，又发现还是救不了他。”

由此可见，关于落体问题的讨论在1589年伽利略当比萨大学数学教授之前已经广泛展开了，并且已有人做过实验，得到的结果其实是尽人皆知的生活经验，问题在于，没有人敢于触犯亚里士多德的教义。因为亚里士多德的理论指的是下落物体的自然运动，即没有媒质作用的自由落体运动，这是一种理想情况，在没有真空系的16世纪，谁都没有可能真正做这个实验。

3. 伽利略的落体实验

关于伽利略的比萨斜塔实验，传说纷纭。有人说：他这个落体实验对亚里士多德的理论是致命的一击；有人说，他由此批驳了亚里士多德的落体速度与重量成正比的说法，得出落体加速度与其重量无关的科学结论；还有人说，他用大小相同的重量不等的两个球，例如铁球和木球，得到同时落地的结果；甚至有人说他用炮弹和枪弹做实验；有人则过分宣扬伽利略的落体实验，说他是第一个做落体实验的。

然而，伽利略在《两门新科学》中，并没有提到他在比萨斜塔做过实验。有关这个实验的传说大概来自他晚年的学生维维安尼（Viviani, 1622—1703）在《伽利略传》中的一段不准确的回忆。这篇传记是在伽利略死后十多年的1657年出版