

大学物理实验

第三册

中国科学技术大学普通物理实验室 编

中国科学技术大学出版社



1-33
80:1
3



大学物理实验

第三册

中国科学技术大学普通物理实验室 编

中国科学技术大学出版社

1997·合肥

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验(第三册)/中国科学技术大学普通物理实验室 编. —合肥:中国科学技术大学出版社,1997年3月
ISBN 7-312-00894-1

I 大学物理实验(第三册)

II 中国科学技术大学普通物理实验室 编

III ① 大学物理 ② 实验技术 ③ 教材

IV O

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路96号 邮编:230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:9.5 字数:240千

1997年3月第1版 1997年3月第1次印刷

印数:1—6000册

ISBN 7-312-00894-1/O·190

定价:8.00元

序

物理学是自然科学中的一门重要学科. 它所研究的对象是物质. 古代学者对自然界有各种思辨性的推想, 直到十三世纪罗杰尔·培根(Roger Bacon)提出一个科学上的名言: 检验前人说理的唯一方法只有观察与实验. 这是科学需要实验的第一声.

六百年后英国剑桥建立卡文迪许实验室, 第一任卡文迪许讲座的教授是麦克斯韦(Maxwell, 1831—1879). 他上任后第一课就以“实验物理学导论”为题, 强调这个课程除了要注意培养学生分析思考能力外, 更重要的是要求学生着意观察, 用手去操作, 用敏锐的视觉、聪听的听力、纤微的触觉、灵巧的手指接触事物. 他教导学生以自身在实验中所接触到的、感受到的东西来启发自己的思考.

以往哲人的启示正是值得我们在学习中身体力行的.

我国大学中设物理学课始于清末, 但开始时只是口授讲课. 到民国初期颜任光、胡刚复两人分掌北京大学、南京高等师范, 各自在物理课中开始正式设物理实验室, 推动了我国物理学教育的进步, 故有“南胡北颜”之誉. 今日各学校物理课中都有实验部分了.

随着科学技术的不断发展, 新知识、新技术不断涌现, 物理实验教学也就需要进行改进. 有鉴于此, 我校从事物理实验教学的同志们经过多年努力, 在总结我校物理实验教学的基础上, 吸收兄弟院校的经验, 编写出这套大学物理实验教材, 这是可喜的.

这套教材有以下几个特色:

一、突出综合性. 将力学、热学、电磁学、光学、部分近代物理诸物理学分支统一考虑, 按知识层次, 分为三册出版. 不同学科群(工商管理类、工科类、化学生物类、物理类)可选择自己需要的部分使用.

二、强调基础知识、基本方法、基本测量的训练, 注意基本物理设计思想、实验方法及技术的归纳与培养.

三、注意物质性质研究和物理量测量方法的历史与现状的介绍.

四、在保证基本训练基础上, 兼及设计性、综合性及现代技术应用诸方面, 以使开拓知识面.

该套教材作为一种尝试, 不足之处, 有待于今后在教学实践中不断完善, 但这毕竟是我校物理实验教学的一个成果, 相信它的出版会对物理实验教学改革有良好推动作用.

钱临照

1995年10月10日

前 言

面对科学技术日新月异的发展趋势,新科技和新学科不断涌现而带来的科学知识的不断更新,加强基础、培养能力、拓宽知识面、增强适应能力是大学物理实验教育的光荣使命.根据国家教委有关深化教育改革的基本精神,结合我校学科群规划及几十年物理实验教学实践的经验,编写了本套大学物理实验教材.

本教材共分为三册,试图以物理实验思想方法、误差分析、物理量的测量、物性和物理规律的研究为线索,突出“基本知识、基本方法、基本测量”的强化训练,扩大设计性和综合性的实验的比例,根据不同的实验层次和阶段配以相应的实验课题.在编写教材时,我们尝试以下列几条作为出发点.

(1) 加强基础训练,提高起点,增加层次,开扩视野.

增加物理实验思想和方法的专题介绍,并强调将学习物理思想和方法的主题贯穿整个物理实验教学的始终,加强实验误差分析和基本物理量测量的训练,增加适当的选做实验和少量自选题内容,并通过引言和附录的形式简单地介绍了相关测量技术的发展、国际标准和最新成就,便于有兴趣的同学参考和查阅有关书籍和文献,亦可作为后续实验课或研究的参考书目.

(2) 介绍用不同的实验方法和技术测量相同的物理量,比较各种方法的优、缺点,以及适用范围,使同学们了解在不同的测量范围,需要用不同的实验仪器、不同的测量方法和技术,同时还了解到物理数量级的变化会导致物理性质的改变.例如:长度测量,其测量范围可由 10^{-26} 到 10^{26} 米,跨越了微观、介观、宏观物理及宇宙学四大研究领域.

(3) 用相同的实验仪器,加以精心安排和巧妙组合,使之能测量不同的物理量,或研究不同的课题.

(4) 增加了综合与设计性实验,有利于调动学生的主观能动性,提高学生实验动手能力、观察问题、分析问题和解决问题的综合能力.

第一册作为第一个层次共 25 个实验和有关物理实验方法、数据处理及误差分析的内容,强调实验的基础知识、基本方法、基本测量的训练,注重一些基本物理设计思想和实验方法及技术的归纳;对一些最基本物理量如:时间、长度、质量、温度、电流的测量知识作了简单的介绍,开设了一些基本物理量测量和某些物性或物理规律的研究的实验;为加深对随机误差统计规律的了解,安排了两个相关的实验.在第四章安排一些综合性、设计性或近代物理中的实验,希望能对学生拓宽知识面及提高独立研究问题的能力有所帮助.

第二册作为第二个层次共 25 个实验.在物理量的测量和物理规律的研究等实验中,同一物理量的不同状况或不同物理量的测量中,为了实现实验目的,采用不同方法或仪器组合,以达到实验的要求.其中包含有基本电磁测量仪器、光学仪器、力学测量仪器等.着重基本仪器的使用 and 选择,实现实验目的要求的仪器选用、组合和改进,某些物理规律的研究及部分综合性、设计性和近代技术的内容.学生在完成第一、二册内容的有关实验后,应该达到国家教委有关

工科系科基础物理实验的教学要求,为后续课打下良好的基础。

第三册作为第三个层次共 22 个实验,三册共 70 多个实验,与教委有关物理实验的教学要求大体相当。本册内容包括教委规定的某些必做实验,如凯特摆测重力加速度,超声速的测量,光的偏振和旋光性质的研究、 RLC 串联电路特性的观测等;其次还有一些难度较大或综合性较强,含有近代某些技术成果的实验,如引力常数的测量、光声效应原理、光纤技术、运算放大器的应用等。非物理类系科,可以选择其中部分实验。物理类系科,则作为一定数量的必做实验。在实验内容的安排中,还增加了一些选做内容,有兴趣的学生,可以接触到更多的知识。教学方法上,着重实验设计的初步入门,如设计并达到实验所要求的水平,通过阅读参考书或仪器说明,使学生通过仪器及实验方法的比较或选择,扩宽知识和实验能力,而且希望作为科学研究实验设计的初步训练。

本套三册书稿,既可以统一使用,也可相对独立选用。

作为本书的编写基础是原中国科学技术大学的物理实验讲义,几十年来许多同志参加准备和编写修改,是他们丰富经验的总结和辛勤劳动的成果。同时,还参考了许多兄弟院校的有关教材和意见,借此,我们向他们表示衷心的感谢!在编写过程中,还得到学校主管教学的副校长、教务长和教务处的同志、科大基础物理中心的领导及许多同志的支持、鼓励和帮助,我们谨致以衷心的感谢!

谢行恕教授在百忙中认真审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵意见。李澄、李跃清、阴泽杰、汪晓莲等同志,分别终审了有关章节。在此我们一并致以衷心的感谢!

参加第三册编写的有:实验 1、5、6、21、22 由刘慎秋编写;实验 2、3、4 由熊永红编写;实验 7、8 由杜英磊编写;实验 17、18、19、20 由张希文编写;实验 11、12、14、16 由严非男编写;实验 9、10、13、15 由钟龙云编写。最后由钟龙云负责统编。承蒙钱临照教授为本书作序。同时,在出版过程中,始终得到了中国科学技术大学出版社的支持和合作,在此一并致谢!

由于编者水平有限,又是第一次按层次分册编写,肯定有不足和错误,欢迎使用的师生提出批评建议,以便再版时修改和完善。

编 者

1996 年 7 月 20 日

目 次

序	(I)
前言	(III)
绪论	(1)
第一章 力学参数的测量、超声及光声实验的原理及应用	(3)
引言	(3)
实验 1 扭秤法测量万有引力常数	(3)
实验 2 凯特摆测量重力加速度	(9)
实验 3 切变模量的测量	(12)
实验 4 三线摆测量刚体的转动惯量	(16)
实验 5 超声速的测量	(20)
实验 6 超声波的应用——探伤及其他	(24)
实验 7 光声效应(I)——锁相放大器的原理	(28)
实验 8 光声效应(II)——光声效应研究	(43)
附录	(49)
第二章 带电粒子在电场及磁场中的运动	(54)
引言	(54)
实验 9 电子在磁场中的聚焦及电子荷质比的测定	(54)
实验 10 电子在复合电磁场中的运动及磁控管法测电子荷质比	(60)
附录	(64)
第三章 RLC 电路及其他有关电路过程的研究	(73)
引言	(73)
实验 11 RLC 串联电路的暂态过程	(73)
实验 12 RL 、 RC 串联电路的稳态特性	(82)
实验 13 用运算放大器实现模拟运算	(87)
实验 14 交流谐振电路	(92)
实验 15 波形的傅里叶分析	(96)
实验 16 放电法测量高电阻	(104)
附录	(106)
第四章 光学特性的测量及应用	(113)
引言	(113)
实验 17 衍射光栅	(113)
实验 18 全息光栅的制作	(115)
实验 19 偏振光实验	(118)
实验 20 旋光现象的观察和测量	(121)

实验 21 光纤几何参数的测量	(123)
实验 22 光纤干涉仪的应用	(127)
第五章 数据处理与误差分析(概述)	(131)
引言.....	(131)
第一节 测量误差.....	(131)
第二节 测量结果的表示与数据处理.....	(135)
附录.....	(139)
参考文献	(141)

绪 · 论

一、实验在物理学发展中的作用

前苏联著名化学家涅斯米扬诺夫曾说过,科学是近代技术之基础,物理是现代科学之领袖,物理学何以成为自然科学中的带头学科?何以成为推动科技革命的主要原动力呢?追根寻源,物理实验的作用确实功不可抹。

众所周知,科学实验是整个自然科学的基础,而物理实验在整个自然科学中又起着极其重要的作用。回顾物理学的发展史,我们可以看到,实验和理论是物理学的两大支柱。实验—理论—再实验……的模式是物理学发展所遵循的基本规律。以某些物理现象或实验事实为基础(或为起点),或又受到某些事物的启发,提出物理模型,用以解释过去已有的实验事实,然后再用实验来验证这个模型的正确与否,并根据不断发展的实验技术和实验方法及实验结果来进一步修正和完善它。若新的实验事实与原有模型不符,或新的实验结果推翻原有理论的某些结论或推论,于是便促使新的物理模型和新理论的诞生……实验和理论相互依赖,相互促进,共同缔造着物理王国,并不断向其他学科辐射、渗透成为发展新学科的源泉和推动科学技术革命的动力。第一次产业革命是如此,第二次产业革命亦是如此,今后的发展还将是如此。物理实验的思想方法、仪器和技术已被普遍地应用到自然科学以外的各学科,并且日益广泛地向生产和生活的各个领域渗透、发展和推广应用。

例如:1831年法拉第的电磁感应现象的发现和1897年赫兹的电磁波实验,就是麦克斯韦电磁场理论的实验基础和理论的验证中最关键的两个实验;1800年杨氏的双缝干涉实验,证明了光的波动学说,赫兹的光电效应的发现,是爱因斯坦光量子假设的实验依据,并最终证明了光的“波粒”二相性;卢瑟福的 α 粒子散射实验,揭开了原子秘密;吴健雄的实验验证了李政道和杨振宁的宇称不守恒定律。对科学技术正在起到巨大作用的新器件、新材料、新技术等(如晶体管、激光器、低温超导、可控热核反应),也都是首先在实验室中研究创造出来的。事实证明,实验工作在物理学各个领域的发展中起着重大的作用,实验室从来就是历史上许多重大技术革命的发源地。

当然,科学实验不应是盲目的,而是具备了进行实验的理论概念之后,为了求证它才去做的。一些实验问题的提出,以及实验的设计、分析和概括也必然要用到现有的理论。因此,在学习物理实验时,要正确处理好理论和实验的辩证关系,要积极主动,动手又动脑,既重视实验技能训练也重视理论的指导作用。

二、物理实验教学的目的是任务

理工科大学的物理实验已发展成为一门独立的科学实验课程,是学生进入大学进行科学实验的入门课,是学生受到系统的实验思想方法和技能训练的开端,也是后续实验课程的基础。

本课程是在中学物理实验的基础上,按物理实验的不同层次,循序渐进,由简到繁组织教学,物理实验课程教学的目的和任务是:

1. 通过实验要求学生做到:弄懂实验原理,了解一些物理量的测量方法;熟悉常用仪器的

基本原理和技术性能,正确选择和使用;能够正确记录及处理实验数据,分析判断实验结果;能写出完备实验报告。

2. 培养并逐步提高学生观察和分析实验现象的能力,理论联系实际、进行综合或设计实验的能力,独立进行研究工作能力。为此,要加强对实验的观察、测量和分析的训练,加强对物理概念、规律和理论的理解和应用,并求逐步提高。

3. 培养及提高学生的科学素质,即严谨的工作作风,严肃认真、实事求是的科学态度,遵守纪律及爱护国家财产的优良品德,刻苦钻研、勇于探索 and 创新的开拓精神等。

以上三个任务,是物理理论和课堂教学所不能代替的,科学技术工作者,绝大多数是从事实验工作或解决国民经济重大技术问题的,只有具备较为广博的理论知识,系统和扎实的现代科学实验技能,探索求实的开拓精神,才能适应科学技术飞速发展的需要,担负起建设现代化社会主义祖国的重担。

三、物理实验的基本程序

物理实验虽然有多种类型,但都是在教师指导下,独立进行实验的实践活动,因此,在实验过程中应当发挥学生的主观能动性,有意识地培养他们的独立工作能力和严谨的工作作风,物理实验课的基本程序,可分为如下三个阶段:

1. 实验前预习。仔细阅读实验教材,了解本次实验的原理和方法,并基本了解有关测量仪器的使用方法,在此基础上写出实验的预习报告,预习报告包括:实验名称、目的要求、仪器用具、原理简述(原理、有关定律或公式、电路图或光路图等)。如果是设计性实验,尚需写出设计概要或有关计算结果。

预习时,以理解原理为主,了解实验中的待测物理量,可能出现的现象,要达到什么目的(求什么或验证什么),以求主动,有目的地操作,克服机械而呆板的操作方式。

2. 进行实验。实验时应遵守实验室规章制度,先要阅读有关仪器使用的注意事项或说明书,熟悉仪器,了解原理和用法,调整好仪器或接好电路,经教师检查后再开始做实验。

实验过程中按步骤进行,仔细测量和读数,正确记录数据(单位和有效数字位数)并填入数据表格中,数据记录中,如发现错误,可以重新记录,并对原来数据加上特殊符号(如“—”或“×”)。未重新测量决不允许修改实验数据。

将实验记录交教师审核签字后,整理好实验仪器,方能离开实验室。整个过程要求保持实验室的整洁、安静、有序。

3. 实验报告。实验报告是实验工作的全面总结,要用简明扼要的形式,将实验结果完整而又真实地表达出来,这是进行科学实验素质培养的必要内容之一。

写报告时,要求文字通顺,字迹端正,数据齐全,图表规矩,结果表示正确(包括误差的表示),讨论认真,应该按自己的思路来写。

实验报告的格式包括下列几部分:

(1) 实验名称; (2) 实验目的; (3) 仪器设备; (4) 简要原理(或定律)及计算公式(光学、电磁学等实验,还有光路图或电路图); (5) 实验简要步骤和实验数据记录; (6) 数据处理(包括计算、图表、误差分析等); (7) 实验结果(结论); (8) 讨论(或回答)。

实验报告要用正规的实验报告纸来写,原始记录必须附在报告后面一并交教师。

第一章 力学参数的测量、超声及光声实验的原理及应用

引言

力学参数在物理学常数中占有非常重要的地位. 对这些参数的测量是伴随着物理学的建立而进行的. 如万有引力常数 G 、重力加速度 g 等都随着力学的发展而产生, 随之而来的是它们的测量. 对于这些参数的测量原理和方法也随之产生了. 因此, 许多力学参数的测量原理和方法是经过上百年的历史检验, 是非常成熟和经典的. 尽管随着科学技术的不断发展, 新的测量技术、仪器、方法等不断更新, 使得这些参数的测量结果更精确, 但有许多参数测量的基本原理仍然发挥着它的光辉. 如万有引力常数 G 的测量是 1789 年卡文迪许(S. H. Cavendish)提出的, 他用扭秤法测定了万有引力常数 $G=6.75\times 10^{-11}\text{m}^2/\text{kg}\cdot\text{s}^2$, 在八、九十年间竟无人超过他的精度. 从卡文迪许到现在近二百年, 许多人还是用相同的或不同的测量原理和方法进行着测量来改进其精度. 又如用凯特摆测量重力加速度 g , 它是 1818 年由凯特提出来的. 19 世纪 60 年代雷普索里作了改进, 成为当时测量重力加速度 g 的最精确方法, 至今这一方法还在为我们所采用. 类似的例子是很多的. 这一类经典的实验的测量原理和方法不仅有非常重要的历史意义, 而且有非常重要的现实的应用价值. 因此, 我们在这一章里选了几个实验, 供同学们学习和参考. 通过这些实验的学习, 不仅使我们了解先辈们的伟大的创造力, 而且也可学习先辈们对物理问题的深邃的洞察力和严谨的科学态度.

在这一章里, 我们还介绍超声和光声方面有关的几个实验. 尽管这些现象的发现已有上百年的历史了, 但是, 由于测量仪器和条件的限制, 对它们的研究还是近几十年的事. 对于它们当中的许多问题仍然是现代声学的前沿课题. 如激光超声、固体、液体和气体中的光声现象等等. 对这些物理现象和规律的应用也处在开发阶段. 通过这些实验使同学们对这些现象有一感性认识, 与此同时, 也从中学到现代实验的思想和方法及如何应用这些现象去解决实际问题.

实验 1 扭秤法测量万有引力常数

一、实验目的

1. 掌握用卡文迪许(S. H. Cavendish)扭秤测量万有引力常数的方法.
2. 测量万有引力常数 G (现在公认的 G 值为: $6.67259\times 10^{-11}\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$).
3. 观察物体间万有引力现象.

二、实验仪器

卡文迪许型扭秤, 氦氖激光器, 防震工作台, 秒表, 卷尺, 坐标纸.

卡文迪许型扭秤外形如图 1.1.1 所示. 扭秤被装进镶有玻璃板的铝框盒内, 固定在底座

上. 扭秤的内部主体结构见图 1. 1. 2.

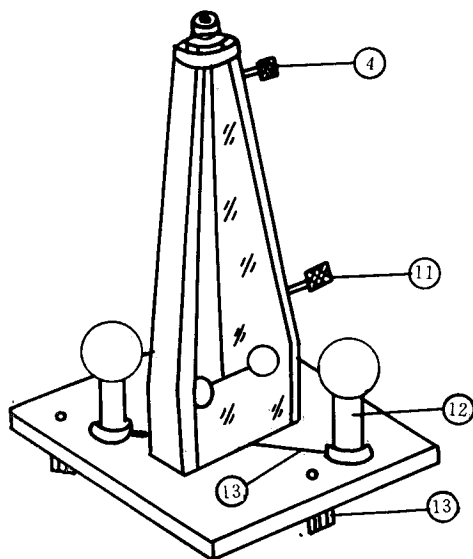


图 1. 1. 1 卡文迪许型扭秤外形

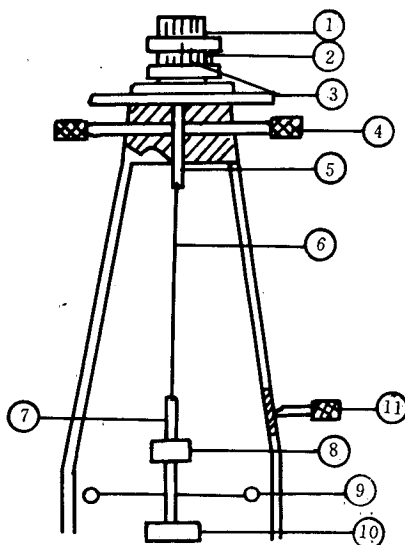


图 1. 1. 2 扭秤主体结构图

长约 16cm 的铍青铜材料悬丝⑥,通过连接片与上螺杆⑤和下螺杆⑦相连接. ①是上螺杆的锁紧螺母,②是扭丝转角调节螺母,用于调节扭秤的平衡中心位置. ③是调节扭丝上下微动的调节螺母. ④是使上螺杆固定的锁紧螺钉. 在下螺杆上装有反光小镜⑧和相距 10.0cm、质量 $m=20.0\text{g}$ 的两个小铅球⑨. ⑩是减缓扭丝摆动的阻尼板.

在仪器侧面有旋钮⑪,逆时针转动可以向上举起扭秤,使悬丝处于松弛休息状态. 在底座上有放置大铅球的可旋转支撑架⑫,可使大铅球移近小铅球或离开小铅球. 在底座下面装有调整仪器水平的三个调节脚⑬.

三、预习要点

1. 了解扭秤上各旋钮的作用.
2. 掌握在扭秤摆动中,求其平衡位置的方法.
3. 了解影响测量结果的主要因素是什么? 如何避免和减小.

四、实验原理

图 1. 1. 3 是扭秤原理结构图. 悬线下吊一杆,杆端有小铅球 m ,当大铅球 M 靠近时,小铅球因万有引力作用而移近大铅球,使悬线产生扭转. 测出平衡时悬线转角即可测知引力的大小和引力常数 G .

1. 万有引力常数 G 的计算公式

参看图 1. 1. 4 扭秤俯视图. 当大铅球 M 紧贴着主体盒的玻璃板且对称于 O 点放置时,大

小铅球中心的连线同主体盒厚度中心线 $P-P'$ 垂直(小铅球实际几乎就在 $P-P'$ 上). 大小铅球之间的万有引力为 F , 小铅球因受到力偶矩 $N=2Fd$ 而扭转, 此时悬丝因扭转又产生与力偶矩 N 相平衡的反向转矩 $N'=K\left(\frac{\alpha}{2}\right)$. K 是悬丝扭转单位角度的力矩, 称扭转常数, $\frac{\alpha}{2}$ 是扭丝转角. 扭秤平衡时由 $N=N'$, 可得

$$F = \frac{K\alpha}{4d} \quad (1.1.1)$$

再使大铅球由图 1.1.4 转到图 1.1.5 位置, 小铅球将受到反方向力偶矩作用而重新平衡, 此时悬丝扭转角为 α . 利用光杠杆原理, α 角由与悬丝一起扭转的小镜⑧反射的激光束在坐标纸上光点的位移 S 来测定. 从小镜到坐标纸的距离为 L , 因为 $L=400\text{cm}$, $S=11\text{cm}$, 所以 $\frac{S}{L} \doteq 2\alpha$, 即

$$\alpha = \frac{S}{2L} \quad (1.1.2)$$

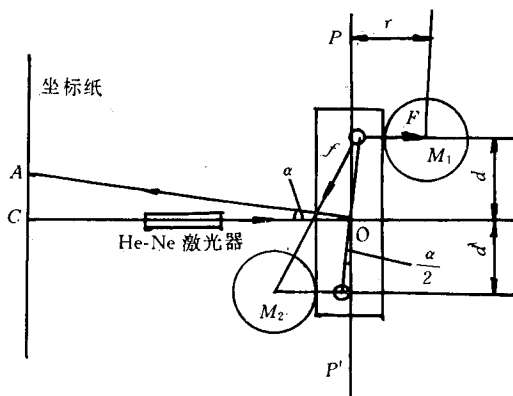


图 1.1.4 大铅球在此位置, 光点在 A 处
由转动方程可求得悬丝的扭转常数

$$K = 8\pi^2 m d^2 T^{-2} \quad (1.1.3)$$

式中: m ——小铅球质量,

d ——扭秤臂长(见图 1.1.4),

T ——扭丝振动周期.

将式(1.1.2)、(1.1.3)代入式(1.1.1), 得到

$$F = \frac{\pi^2 m d s}{T^2 L} \quad (1.1.4)$$

另一方面, 质量为 M 和 m 中心相距为 r 的大小铅球之间的万有引力为

$$F = G \cdot \frac{Mm}{r^2} \quad (1.1.5)$$

从式(1.1.4)、(1.1.5)中消去 F , 得到万有引力常数

$$G = \frac{\pi^2 r^2 d s}{M L T^2} \quad (1.1.6)$$

2. 对式(1.1.6)的修正

由图 1.1.4 可见,小铅球受到大铅球 M_1 作用力 F 的同时,也受到斜后方另一大铅球 M_2 的作用力 f ,当考虑到 f 的作用时,式(1.1.6)的 G 值应修正为

$$G = (1 - \beta)^{-1} \cdot \frac{\pi^2 r^2 ds}{MLT^2} \quad (1.1.7)$$

式中 $\beta = \frac{r^3}{(r^2 + 4d^2)^{3/2}}$,代入扭秤的数据 $d = 5.0 \times 10^{-2}\text{m}$, $r = 4.75 \times 10^{-2}\text{m}$,得 $\beta = 0.079$. 将 β 值代入式(1.1.7),得修正后的万有引力常数

$$G = 1.086 \cdot \frac{\pi^2 r^2 ds}{MLT^2} \quad (1.1.8)$$

(修正公式的推导写在本实验后).

五、实验内容

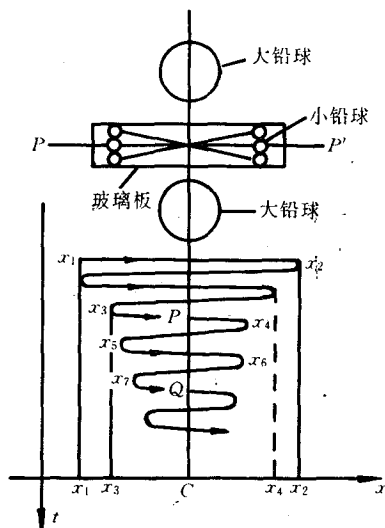


图 1.1.6 测扭秤平衡点和周期

①将扭秤落下,此时扭秤作最大振幅的扭转振动(撞击玻璃板),在坐标纸上读取两端最远光点的坐标值 x_1 和 x_2 ,则 C 点的坐标值为

$$C = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (1.1.9)$$

若扭秤静止时光点不停在 C 点,可旋松扭秤上端的上螺杆锁紧螺钉④后,适度调节角度调节螺母②,再旋紧螺钉④.再观察此时扭秤静止时光点停的位置是否在 C 点,不停在 C 点要继续调节,直到符合要求为止.

以下实验内容的 2、3、4、5、6 要求学生在课堂内完成.

2. 测扭秤不受力时的平衡点 C

将大铅球放到支撑架⑫上,使支撑架旋转臂⑬垂直于主体盒厚度中心线 $P-P'$,参看图 1.1.6. 接通激光电源,顺时针转动旋钮⑪使扭秤下落,且作最大振幅的扭转振动(撞击玻璃板),记下此时光点在坐标纸上两端最远点的位置坐标 x_1 和 x_2 ,并由式(1.1.9)求出 C 点的位

1. 校正扭秤平衡中心位置(由实验室课前完成).

将扭秤置于防震平台上,氦氖激光器和坐标纸按图 1.1.4 所示方位配置好.顺时针方向轻轻转动旋钮⑪,使悬丝处在自由悬吊状态,调节水平脚,使下螺杆处于扭动无约束状态.

参看图 1.1.6,当扭秤不受大铅球作用而静止时,两小铅球应位于仪器主体盒厚度的中心线 $P-P'$ 上,此时扭秤上小镜反射的光点应停在坐标纸上 C 点, C 点称扭秤平衡中心位置,简称平衡点.求 C 点坐标值的方法是:接通激光电源,逆时针转动旋钮⑪将扭秤抬起,再顺时针转动旋钮⑪

置坐标值.

3. 测扭秤不受力时的实际平衡点 C'

调节好的扭秤由于外界环境的变化和使用过程中一些偶然因素的影响,扭秤不受力时两小球是否停在主体盒厚度中心线 $P-P'$ 上呢?不一定.所以,使用扭秤前,测知该扭秤的实际平衡点 C' 是必要的,因为 C 与 C' 偏离过大会带来较大的系统误差.

测定 C' 的方法:

当扭秤振动不撞击玻璃板时,即光点摆动的两端极大值坐标比 x_1 大比 x_2 小时,见图 1.1.6 中 x_3 和 x_4 . 开始依次记录光点在坐标纸上摆动到两端最远点的坐标值 x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 , 利用下面介绍的平均法求出扭秤不受力时的实际平衡点 C' . 当 C 和 C' 坐标值相差不多时,下面测出的 $A(A')$ 和 B 应对称的分布在 C' 的两侧.

4. 测扭秤的固有振动周期 T

在进行内容 3 的同时,当光点摆动到扭秤平衡中心位置 C 点附近的某一点(包括 C 点),开始用秒表记录光点连续摆动两个周期所需时间,例如图 1.1.6 中横轴代表光点的摆幅,纵轴代表时间,光点由 P 点摆动到 Q 点的时间是 $2T$, 其一个周期的平均值就是扭秤的固有振动周期 T .

注意:当扭秤撞击玻璃板或摆幅过小时不能测周期,因为此时的周期不等于扭秤的固有振动周期.

5. 测量万有引力作用下光点的位移量 S

测完周期和 C' 立即将大球置于图 1.1.4 位置,因光点左右摆动到完全停下来需要两个小时以上,为了缩短测量时间,要在扭秤摆动中求出扭秤静止时光点的位置,所采用的方法如下:

参看图 1.1.7(小球摆动已不撞击玻璃板),依次记下光点摆动到两端的各个极值点的位置坐标 $a_1, a_2, \dots, a_6$, 则光点静止时的位置坐标 A , 可用下述平均法计算:

$$A_1 = \frac{\frac{a_1 + a_3}{2} + a_2}{2}, \quad A_2 = \frac{\frac{a_2 + a_4}{2} + a_3}{2},$$
$$A_3 = \frac{\frac{a_3 + a_5}{2} + a_4}{2}, \quad A_4 = \frac{\frac{a_4 + a_6}{2} + a_5}{2},$$

$$A = \frac{1}{4}(A_1 + A_2 + A_3 + A_4)$$

将大球再置于图 1.1.5 位置,依次记下光点摆动到两端的各个极值点的位置坐标值 $b_1, b_2, \dots, b_6$, 用上述平均法求出

$$B = \frac{1}{4}(B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$$

则 B 是此时光点静止时的位置坐标值.

再将大球转到图 1.1.4 位置,记下光点摆动的极值点 $a_1', a_2', \dots, a_6'$, 求出 A' .

由 A 、 B 、 A' 可算出两组位移量: $S_1 = |A - B|$, $S_2 = |B - A'|$, 其平均值 $S = \frac{1}{2}(S_1 + S_2)$.

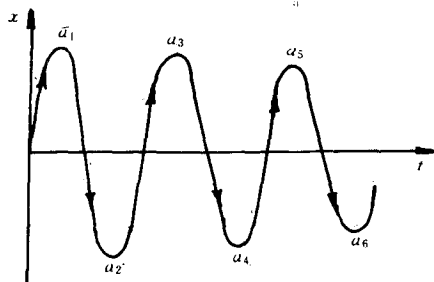


图 1.1.7 光点的振动曲线

6. 测扭秤小镜⑧到坐标纸的距离 L , 记下大铅球的质量 M (刻在铅球上).

7. 计算万有引力常数 G

将测得的 T 、 S 、 L 和 M 值代入式(1.1.8)求 G . 与公认 G 值比较, 计算相对误差.

8. 对测量结果进行讨论, 分析影响测量结果的主要因素.

六、实验注意事项

1. 图 1.1.4 和图 1.1.5 中大球要与玻璃板相贴, 操作时动作要轻, 切莫撞击玻璃板.

2. 测量时, 记录的是光点在坐标纸上的坐标值.

3. 实验中要合理分配时间. 实验内容中的 2、3、4、5 要连续完成, 整个实验中不许再抬、落扭秤. 完成内容 2、3、4 共需 40 分钟, 完成内容 5 需要 100 分钟, 整个实验应在 150—180 分钟内完成, 时间不够, 可不测 A' , 或者 A 和 A' 各测两个周期的极值点 a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 和 a_1' 、 a_2' 、 a_3' 、 a_4' , B 仍测三个周期.

4. 测量过程中避免外界的震动和电磁场的干扰.

5. 实验环境保持恒温. 仪器避免阳光照射和热源的影响, 测量中不用手摸触大铅球, 人体尽量远离仪器. 在测量开始、中间、结束各测一次室温.

思考题

1. 你所用的扭秤不受力时的平衡点 C 和 C' 相差多少, 对你的测量结果有影响否?

2. 说明实验中观察到的万有引力现象.

3. 任何物体之间都存在着万有引力, 那么周围物体对你的测量结果是否有影响?

4. 你设计一个测万有引力常数的实验方案.

[万有引力常数修正公式的推导].

参看图 1.1.8, m 与 M_1 间的万有引力为

$$F = G \frac{mM_1}{r^2}$$

m 与 M_2 间距离为 $\sqrt{r^2 + 4d^2}$, m 与 M_2 间的万有引力为

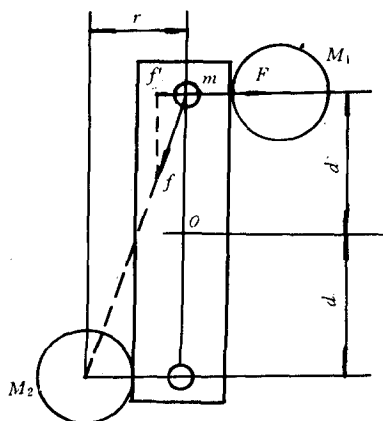


图 1.1.8 修正系数 β 说明图

$$f = G \frac{mM_2}{r^2 + 4d^2}$$

f 在 F 方向的反向分力为:

$$f' = f \frac{r}{\sqrt{r^2 + 4d^2}}$$

在 F 方向上小球 m 实际上受到的引力为(设 $M_1 = M_2 = M$):

$$\begin{aligned} F' &= F - f' = G \frac{Mm}{r^2} - G \frac{mM}{r^2 + 4d^2} \cdot \frac{r}{\sqrt{r^2 + 4d^2}} \\ &= G \frac{Mm}{r^2} \left[1 - \frac{r^3}{(r^2 + 4d^2)^{3/2}} \right] = G \frac{Mm}{r^2} (1 - \beta) \end{aligned} \quad (1.1.9)$$

上式中令 $\beta = \frac{r^3}{(r^2 + 4d^2)^{3/2}}$, 由式(1.1.9)和式(1.1.4)相等, 可导出式(1.1.7).

实验 2 凯特摆测量重力加速度

1818 年凯特提出的可倒摆, 经雷普索里德作了改进后, 成为当时测量 g 最精确的方法, 波斯坦大地测量研究所曾用五个凯特摆用了 8 年时间 (1896—1904), 测得当地的重力加速度 $g = 981.274 \pm 0.003 \text{ cm/s}^2$, 许多地区的 g 值都曾以此为根据, 进行相对测量得到. 凯特摆测量重力速度 g 的方法不仅在科学史上有着重要的价值, 而且在实验设计上亦有值得学习的技巧.

一、实验目的

1. 学习一种较精确测量重力加速度的方法.
2. 学习凯特摆的实验设计思想和技巧.

二、实验仪器

凯特摆, VAFN 多用数字测试仪, 光电探头和米尺等.

凯特摆由底座、压块、支架、V 形刀承和一根长一米的金属摆杆组成. 金属摆杆上嵌有二个对称的刀口 E 和 F 作悬挂之用, 一对大小形状相同、但质量不同的摆锤 A 、 B 分别位于摆杆的两端, 另一对小摆锤 D 、 C 位于刀口 E 和 F 的内侧, 黑色的摆锤 A 、 D 是金属制成, 橙色的摆锤 C 、 B 由塑料制成如图 1.2. 1. 就摆杆的外形而言, 摆杆各部处于对称状态, 其目的在于抵消实验时空气浮力的影响以及减小阻力的影响. 调节刀口 E 和 F 可以改变等值单摆长 l . 调节摆锤 A 、 B 、 C 、 D 的位置, 可以改变摆杆系统的质量分布. h_1 和 h_2 分别为悬点 O 和 O' 到摆杆体系质心的距

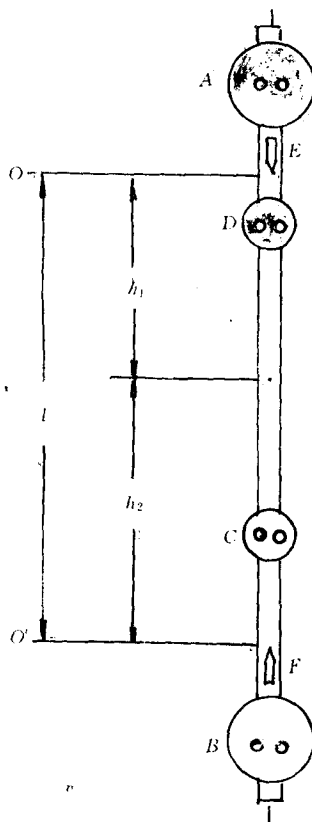


图 1.2.1 凯特摆摆杆结构示意图