

全国中学生物理竞赛委员会办公室 编

2005

全国中学生 物理竞赛专辑



北京教育出版社

2005

全国中学生物理竞赛

专 辑

全国中学生物理竞赛委员会办公室 编

北京教育出版社

2005 年全国中学生物理竞赛专辑
2005 QUANGUO ZHONGXUESHENG
WULI JINGSAI ZHUANJI
全国中学生物理竞赛委员会办公室 编

*

北京教育出版社出版

(北京北三环中路 6 号)

邮政编码:100011

北京出版社总发行

新华书店经销

保定市印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 6.5 印张 150 000 字

2005 年 4 月第 7 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

印数 1 - 10 000

ISBN 7 - 5303 - 1445 - 9/G · 1420

定价:8.00 元

目 次

全国中学生物理竞赛简介	(1)
全国中学生物理竞赛章程	(4)
全国中学生物理竞赛内容提要	(10)
在第 21 届全国中学生物理竞赛决赛 颁奖大会暨闭幕式上的讲话	祝家麟(19)
第 21 届全国中学生物理竞赛闭幕词	贾起氏(21)
第 21 届全国中学生物理竞赛全国竞赛委员会、组织委员会、 评奖组及获奖学生名单	(29)
第 21 届全国中学生物理竞赛试题及参考解答	(34)
预赛试题及参考解答	(34)
复赛理论试题及参考解答	(51)
各省、自治区、直辖市复赛实验试题及部分解答	(75)
北京市	(75)
上海市	(76)
天津市	(81)
重庆市	(82)
河北省	(86)
山西省	(90)
内蒙古自治区	(94)
辽宁省	(96)
吉林省	(97)
黑龙江省	(100)
江苏省	(101)
浙江省	(103)
安徽省	(104)
福建省	(106)

江西省	(107)
山东省	(110)
河南省	(116)
湖北省	(117)
湖南省	(120)
广东省	(121)
广西壮族自治区	(122)
海南省	(123)
四川省	(128)
贵州省	(130)
云南省	(132)
陕西省	(133)
甘肃省	(135)
宁夏回族自治区	(138)
青海省	(139)
新疆维吾尔自治区	(140)
决赛试题及参考解答	(142)
第 35 届国际物理奥林匹克竞赛试题与解答	(181)

全国中学生物理竞赛简介

全国中学生物理竞赛是在中国科协领导下,由中国物理学会主办,各省、自治区、直辖市自愿参加的群众性的课外学科竞赛活动.这项活动得到教育部的同意和支持.竞赛的目的是促进中学生提高学习物理的主动性和兴趣,改进学习方法,增强学习能力;促进学校开展多样化的物理课外活动,活跃学习空气;发现具有突出才能的青少年,以便更好地对他们进行培养.

竞赛分为预赛、复赛和决赛.预赛由全国竞赛委员会统一命题,采取笔试的形式,所有在校的中学生都可以报名参加.在预赛中成绩优秀的学生由地、市、县推荐,可以参加复赛.复赛包括理论和实验两部分.理论部分由全国竞赛委员会统一命题,满分为 140 分;实验部分由各省、自治区、直辖市竞赛委员会命题,满分为 60 分.根据复赛中理论和实验的总成绩,由省、自治区、直辖市竞赛委员会推荐成绩优秀的学生参加决赛.决赛由全国竞赛委员会命题和评奖.每届决赛设一等奖、二等奖的名额为参加决赛人数的 $\frac{1}{6}$ 和 $\frac{1}{3}$,还设有三等奖.此外,还设总成绩最佳奖、理论成绩最佳奖、实验成绩最佳奖和女学生成绩最佳奖等单项特别奖.

全国中学生物理竞赛开始于 1984 年,每学年举行一次.历届竞赛的基本情况见表 1.

从第 2 届开始,由全国中学生物理竞赛的一、二等奖获得者中选出我国准备参加国际物理奥林匹克竞赛的集训队.经过短期培训,从中选出正式参赛的代表队.1986 年 7 月,我国首次参加了在英国举行的第 17 届国际物理奥林匹克竞赛,3 名选手全部获奖.在以后的历届国际竞赛中,我国每年选派 5 名学生参

表1 第1~21届全国中学生物理竞赛基本情况

届次	预赛		决赛		
	时间	参赛人数	时间	地点	参赛人数
1	1984.11.18	43 079	1985.2.26~3.2	北京	76
2	1985.1.26	52 925	1986.4.1~4.5	上海	104
3	1986.11.16	58 766	1987.2.22~2.25	天津	105
4	1987.10.25	57 523	1988.1.6~1.10	兰州	101
5	1988.10.23	55 855	1989.1.6~1.10	广州	106
6	1989.10.8	53 096	1989.12.10~12.14	长春	127
7	1990.10.21	54 393	1990.12.23~12.27	福州	105
8	1991.6.30	73 806	1991.9.8~9.13	桂林、南宁	104
9	1992.9.6	60 617	1992.10.12~10.15	合肥	101
10	1993.9.5	46 843	1993.10.8~10.11	长沙	105
11	1994.9.4	65 146	1994.10.9~10.12	西安	109
12	1995.9.3	55 867	1995.10.8~10.11	太原	112
13	1996.9.8	86 173	1996.10.19~10.22	杭州	114
14	1997.9.8	90 067	1997.10.18~10.22	南昌	118
15	1998.9.6	134 599	1998.10.21~10.25	大庆	121
16	1999.9.5	169 282	1999.10.16~10.21	南京	126
17	2000.9.3	225 683	2000.10.21~10.25	武汉	143
18	2001.9.9	267 363	2001.10.20~10.24	海口	145
19	2002.9.8	322 043	2002.10.19~10.23	郑州	146
20	2003.9.7	359 835	2003.10.18~10.22	济南	170
21	2004.9.5	328 134	2004.10.16~10.20	重庆	173
合计		2 661 095			2 511

赛,至今共派出88人,全部获奖.共获金牌57块、银牌20块、铜牌9块、表扬奖2名,位居参赛各国前列.详情见表2.

20年来,全国中学生物理竞赛受到广大中学师生的欢迎和社会各界的好评.第22届全国中学生物理竞赛将于2005年举行,决赛地点为辽宁省沈阳市.

表2 我国参加国际物理奥林匹克竞赛情况

届次	时间	地点	我国参赛学生姓名	获奖牌数				
				金	银	铜	表扬	合计
17	1986	英国 伦敦	林晨、卫星、张明	1	1	1		3
18	1987	德国 耶拿	陈恂、黎锦晖、唐鹏飞、吴爱华、张燕平	2	3			5
19	1988	奥地利 伊施尔	陈岩松、徐剑波、陈丰、丁爱东、陈建	1	2	1	1	5
20	1989	波兰 华沙	燕京、毛甬、邱东昱、葛宁、林晓帆	4	1			5
21	1990	荷兰 格罗宁根	吴明扬、周纲、杨巍、陈伯友、段志勇	2	1	2		5
22	1991	古巴 哈瓦那	王泰然、任宇翔、宣佩琦、夏磊、吕强	5				5
23	1992	芬兰 赫尔辛基	陈涵、李翌、石长青、张霖涛、罗卫东	5				5
24	1993	美国 威廉斯堡	张俊安、李林波、贾占峰、韦韬、黄稚宁	2	2	1		5
25	1994	中国 北京	杨亮、韩岩、田涛、饶京翔、黄英	4	1			5
26	1995	澳大利亚 堪培拉	淤海涛、毛蔚(女)、谢小林、倪彬、蒋志	5				5
27	1996	挪威 奥斯陆	刘雨润、张蕊(女)、徐开闻、陈汇钢、倪征	5				5
28	1997	加拿大 萨德伯里	赖柯吉、王晨扬、连乔、王新元、倪欣来	3	2			5
29	1998	冰岛 雷克雅未克	邓志峰、陈宇翱、刘媛(女)、吴欣安、李啸峰	5				5
30	1999	意大利 帕多瓦	蒋良、季杰、段学峰、贾珣、张志鹏	2	3			5
31	2000	英国 莱斯特	吕莹、陈晓升、宋均亮、张弛、肖晶	5				5
32	2001	土耳其 安塔利亚	施陈博、戚扬、刘彦、魏轶昊、吴彬	4	1			5
33	2002	印度尼西亚 巴厘	樊向军、杨桓、顾春辉、陈阳、高俊	4	1			5
34	2003	中国 台湾	未派选手参赛					
35	2004	韩国 浦项	李真、缪亚立、施焯明、郎瑞田、高亢	5				5
累计				57	20	9	2	88

全国中学生物理竞赛章程

(中国物理学会常务理事会 1991 年 2 月 12 日制定,
2004 年 11 月 30 日修订)

第一章 总 则

第一条 全国中学生物理竞赛(对外可以称中国物理奥林匹克,英文名为 Chinese Physics Olympiad,缩写为 CPhO)是群众性的课外学科竞赛活动.这项活动由中国科学技术协会主管,中国物理学会主办,并得到国家教育部的批准.

竞赛的目的是激发学生学习物理的兴趣和主动性,促使他们改进学习方法,增强学习能力;帮助学校开展多样化的物理课外活动,活跃学习空气;发现具有突出才能的青少年,以便更好地对他们进行培养.

第二条 全国中学生物理竞赛要贯彻“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的精神.竞赛内容的深度和广度可以比中学物理教学大纲和教材有所提高和扩展.

第三条 参加全国中学生物理竞赛者主要是对物理学习有兴趣并学有余力的在校普通高中学生.竞赛应坚持学生自愿参加的原则.竞赛活动主要应在课余时间进行,不要搞层层选拔,不要影响学校正常的教学秩序.

第四条 学生参加竞赛主要依靠学生平时的课内外学习和个人努力.学校和教师不要为了准备参加竞赛而临时突击,不要组织“集训队”或搞“题海战术”,以免影响学生的正常学习和身体健康.学生在物理竞赛中的成绩只反映学生个人在这次活动中所表现出来的水平,不应当以此来衡量和评价学校的工作和教师的教学水平.

第二章 组织领导

第五条 全国中学生物理竞赛由中国物理学会主办.中国物理学会常务理事会制定《全国中学生物理竞赛章程》;设立全国中学生物理竞赛委员会(简称全国竞委会),统一领导全国中学生物理竞赛活动.全国中学生物理竞赛委员会由主任一人、副主任和委员若干人组成.主任和副主任由中国物理学会常务理事会聘任,组成全国中学生物理竞赛委员会常务委员会(简称常委会).全国中学生物理竞赛委员会可设名誉主任,由中国物理学会常务理事会聘任.

全国竞委会委员任期一年,产生办法如下:

1. 各省(自治区、直辖市)物理学会各委派委员 1 人;
2. 承办本届或下届决赛的省(自治区、直辖市)物理学会各委派 3 人;
3. 由常委会根据需要聘请若干人任特邀委员.

第六条 常委会在中国物理学会常务理事会领导下主持全国竞委会工作;制定有关竞赛工作的各项实施细则.

全国竞委会在决赛期间召开全体会议,研究和讨论与本届和下届竞赛有关事宜,交流组织竞赛活动的经验,提出意见和建议;审议通过决赛获奖学生名单.

全国竞委会委员在任期内负责常委会和本省(自治区、直辖市)竞赛委员会工作上的联系.

第七条 常委会下设全国中学生物理竞赛命题组(简称命题组)和全国中学生物理竞赛办公室(简称办公室)等工作机构.

命题组成员由常委会聘请专家担任.命题组负责预赛、复赛理论试题及决赛的理论、实验试题的命题工作.

办公室负责处理有关竞赛的日常事务.

第八条 每年承办决赛的省(自治区、直辖市)物理学会与有关方面协商组成该届全国中学生物理竞赛组织委员会(简称组委会),组委会负责决赛期间各项活动的筹备与组织工作以及命题会议的会务工作。

组委会工作接受常委会指导。

第九条 各省(自治区、直辖市)物理学会与各有关方面协商组成省(自治区、直辖市)中学生物理竞赛委员会(简称地方竞委会)。地方竞委会要按照《全国中学生物理竞赛章程》和常委会制定的有关竞赛工作的各项实施细则,负责组织和领导本省(自治区、直辖市)有关竞赛的各项活动。

地方竞委会的工作受全国竞委会的指导和监督。

第三章 竞赛程序

第十条 全国中学生物理竞赛每年举行一次,包括预赛、复赛和决赛。在校高中学生可向学校报名,经学校同意,由学校到地方竞委会指定的地点报名。凡报名参加全国中学生物理竞赛的学生均在地方竞委会指定的地点参加预赛。预赛由全国中学生物理竞赛命题组统一命题和制定评分标准,办公室统一制卷。各地方竞委会组织赛事和评定成绩。预赛满分为200分,竞赛时间为3小时。地方竞委会不得组织其他考试来确定学生参加复赛的资格。

第十一条 复赛包括理论和实验两部分。理论题由全国中学生物理竞赛命题组统一命题和制定评分标准,办公室统一制卷。理论考试满分为160分,时间为3小时。各地方竞委会组织赛事和评定成绩。复赛实验由地方竞委会命题和评定成绩,满分为40分,实验时间为3小时。复赛实验的日期、地点和组织办法由各地方竞委会根据实际情况自行决定。

参加复赛的学生由地方竞委会根据预赛成绩确定。参加复赛理论考试的人数不得少于本赛区一等奖名额的5倍。参加复赛实验考试人数不得少于本赛区一等奖名额的1.2倍。

第十二条 各地方竞委会根据学生复赛的总成绩(理论考试成绩和实验考试成绩之和)择优推荐3名学生参加决赛。对于在上届决赛中成绩较好的省(自治区、直辖市)给予奖励名额,凡有学生获一等奖者,一律奖励1名。在当年举行的国际物理奥林匹克竞赛中获金、银、铜奖的学生所在省(自治区、直辖市)每有1名学生获奖,就奖励1名。

承办决赛的省(自治区、直辖市)参加决赛的名额可增加3名。

若参加决赛的最后一个名额有两名以上的学生总成绩相同,则地方竞委会应根据他们的理论成绩高低择优确定1名;若理论成绩最高的学生有两名以上也相同,则地方竞委会可对理论成绩并列最高的学生以笔试的形式进行加试,选取成绩最好的1名。

决赛由全国中学生物理竞赛命题组命题和制定评分标准。决赛包括理论和实验两部分,竞赛时间各3小时。理论满分为140分,实验满分为60分。由组委会聘请高校教师阅卷评分。

由常委会聘请专家组成评奖组,由评奖组核审学生决赛成绩,提出获奖名单,最后由全国竞委会审议通过。

第四章 命题原则

第十三条 竞赛内容要从我国目前高中学生的实际情况出发,但不必拘泥于现行的教学大纲和教材。常委会要根据此原则编写《全国中学生物理竞赛内容提要》和《全国中学生物理竞赛复赛实验指导书》。

第十四条 预赛、复赛和决赛理论命题均以《全国中学生物理竞赛内容提要》为依据。复赛实验题目从《全国中学生物理竞赛复赛实验指导书》中选定。决赛实验命题以《全国中学生物理竞赛内容提要》和《全国中学生物理竞赛复赛实验指导书》为基础。

第五章 奖励办法

第十五条 全国中学生物理竞赛只评选个人奖，不搞省、地、市、县或学校之间评比。

根据决赛成绩和参加决赛人数，每届评选出决赛一等奖、二等奖和三等奖。一等奖和二等奖人数各占参加决赛人数的 $1/6$ 和 $1/3$ 。若一（或二）等奖最后一个名额有两名或两名以上的学生总成绩相同，则都评为一（或二）等奖。由全国竞委会给予奖励。在举行决赛的城市召开授奖大会，颁发全国中学生物理竞赛获奖证书。

第十六条 对于在预赛和复赛中成绩优秀的学生，全国竞委会设立赛区一、二、三等奖，由地方竞委会按学生成绩进行评定。赛区一等奖的评定以复赛总成绩为准。赛区二等奖的评定以复赛理论成绩为准。赛区三等奖的评定标准由地方竞委会根据学生成绩和当地实际情况决定。赛区一、二、三等奖获奖者均颁发相应的获奖证书。

赛区一等奖的名额由常委会决定。若赛区一等奖最后一个名额有两名以上的学生总成绩相同，则地方竞委会应根据他们的理论成绩高低择优确定一名；若理论成绩最高的学生有两名以上也相同，则地方竞委会可对理论成绩并列最高的学生以笔试的形式进行加试，选取成绩最好的 1 名。赛区二、三等奖的名额由各省（自治区、直辖市）物理学会确定。

对获奖学生的奖励要有利于学生的健康成长。

第十七条 对在决赛中获奖和获赛区一、二等奖的学生的指导教师，由各地方竞委会确定名单，以全国竞委会名义给予表彰，发给荣誉证书。

第六章 守则和纪律、监督、惩罚

第十八条 关于竞赛守则和纪律、监督和惩罚，按中国科协颁布的有关条例中的规定执行。

第七章 经费

第十九条 全国中学生物理竞赛所需经费应根据中国科协的规定主要通过各种途径自筹，但必须严格遵守国家的各项法律法规。

第二十条 学生参加预、复赛应缴纳报名费和试卷费。报名费收入全部由地方竞委会留用，试卷费上交全国竞委会办公室。参加决赛的学生要交纳决赛参赛费，作为全国竞委会和组委会进行与决赛有关的各项工作的部分经费。

学生参加竞赛所需食、宿、交通费用原则上由学生自理。对经济有困难的学生由地方竞委会与有关方面协商给予补助。

第二十一条 决赛活动所需经费由组委会负责筹措，全国竞委会给予适当补助。

第二十二条 经费开支应贯彻勤俭节约的原则。向学生收取的费用应根据竞赛成本核定，不以赢利为目的。

第八章 附 则

第二十三条 本章程由中国物理学会常务理事会议制定。本章程的解释权属中国物理学会常务理事会。

全国中学生物理竞赛内容提要

(2005年1月修订,2006年实行)

编者按:按照中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会第九次全体会议的建议,由中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会常务委员会根据《全国中学生物理竞赛章程》中关于命题原则的规定,结合我国目前中学生的实际情况,制定了《全国中学生物理竞赛内容提要》,作为今后物理竞赛预赛、复赛和决赛命题的依据.它包括理论基础、实验、其他方面等部分.其中理论基础的绝大部分内容和国家教委制订的《全日制中学物理教学大纲》中的附录,即1983年教育部发布的《高中物理教学纲要(草案)》的内容相同.主要差别有两点:一是少数地方做了几点增补;二是去掉了教学纲要中的说明部分.此外,在编排的次序上做了一些变动,内容表述上做了一些简化.1991年2月20日经全国中学生物理竞赛委员会常务委员会扩大会议讨论通过并开始试行.1991年9月11日在南宁由全国中学生物理竞赛委员会第10次全体会议正式通过,开始实施.

经2000年第19次竞委会原则同意,对《全国中学生物理竞赛内容提要》作适当的调整和补充.考虑到适当控制预赛试题难度的精神,提要中新补充的内容将用“※”符号标出,作为复赛题和决赛题增补的内容,预赛试题仍沿用原规定的内容提要,不增加修改补充后的内容.新规定的《全国中学生物理竞赛内容提要》从2002年起实行,2001年举行的第18届物理竞赛预、复、决赛仍采用未修改、补充的《全国中学生物理竞赛内容提要》.

2005年1月,常委会对《全国中学生物理竞赛内容提要》作了少量修改和补充,修改后的《全国中学生物理竞赛内容提要》将从2006年开始实行.

一、理论基础

力学

1. 运动学

参照系 质点运动的位移和路程、速度、加速度 相对速度
矢量和标量 矢量的合成和分解 ※矢量的标积和矢积
匀速及匀变速直线运动及其图像 运动的合成 抛体运动
圆周运动

刚体的平动和绕定轴的转动

2. 牛顿运动定律 力学中常见的几种力

牛顿第一、二、三运动定律 惯性参照系的概念

摩擦力

弹性力 胡克定律

万有引力定律 均匀球壳对壳内和壳外质点的引力公式

(不要求导出) 开普勒定律 行星和人造卫星运动

※惯性力的概念

3. 物体的平衡

共点力作用下物体的平衡

力矩 刚体的平衡条件 重心

物体平衡的种类

4. 动量

冲量 动量 质点与质点组的动量定理 动量守恒定律

※质心 ※质心运动定理

反冲运动及火箭

5. ※冲量矩 ※角动量 ※质点和质点组的角动量定理

(不引入转动惯量) ※角动量守恒定律

6. 机械能

功和功率

动能和动能定理

重力势能 引力势能 质点及均匀球壳壳内和壳外的引力势能公式(不要求导出) 弹簧的弹性势能

功能原理 机械能守恒定律

碰撞 恢复系数

7. 流体静力学

静止流体中的压强

浮力

8. 振动

简谐振动 [$x = A\cos(\omega t + \alpha)$] 振幅 频率和周期 相位 振动的图像

参考圆 振动的速度 $v = -A\omega\sin(\omega t + \alpha)$

由动力学方程确定简谐振动的频率 简谐振动的能量

同方向同频率简谐振动的合成

阻尼振动 受迫振动和共振(定性了解)

9. 波和声

横波和纵波 波长、频率和波速的关系 波的图像 平面

简谐波的表示式 $y = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$

波的干涉和衍射(定性) ※驻波

声波 声音的响度、音调和音品 声音的共鸣 乐音和噪

声 ※多普勒效应

热 学

1. 分子动理论

原子和分子的量级

分子的热运动 布朗运动 温度的微观意义

分子力

分子的动能和分子间的势能 物体的内能

2. 热力学第一定律

热力学第一定律

3. ※热力学第二定律

※热力学第二定律 ※可逆过程与不可逆过程

4. 气体的性质

热力学温标

理想气体状态方程 普适气体恒量

理想气体状态方程的微观解释(定性)

理想气体的内能

理想气体的等容、等压、等温和绝热过程(不要求用微积分运算)

5. 液体的性质

液体分子运动的特点

表面张力系数

浸润现象和毛细现象(定性)

6. 固体的性质

晶体和非晶体 空间点阵

固体分子运动的特点

7. 物态变化

熔解和凝固 熔点 熔解热
蒸发和凝结 饱和气压 沸腾和沸点 汽化热 临界温度
固体的升华
空气的湿度和湿度计 露点

8. 热传递的方式

传导、对流和辐射

9. 热膨胀

热膨胀和膨胀系数

电 学

1. 静电场

库仑定律 电荷守恒定律

电场强度 电场线 点电荷的场强 场强叠加原理 均匀带电球壳壳内的场强和壳外的场强公式(不要求导出) 匀强电场

电场中的导体 静电屏蔽

电势和电势差 等势面 点电荷电场的电势公式(不要求导出) 电势叠加原理 均匀带电球壳壳内和壳外的电势公式(不要求导出)

电容 电容器的连接 平行板电容器的电容公式(不要求导出)

电容器充电后的电能

电介质的极化 介电常量

2. 稳恒电流

欧姆定律 电阻率和温度的关系

电功和电功率

电阻的串、并联

电动势 闭合电路的欧姆定律

一段含源电路的欧姆定律 *基尔霍夫定律

电流表 电压表 欧姆表

惠斯通电桥 补偿电路

3. 物质的导电性

金属中的电流 欧姆定律的微观解释

液体中的电流 法拉第电解定律

气体中的电流 被激放电和自激放电(定性)

真空中的电流 示波器

半导体的导电特性 P型半导体和N型半导体

晶体二极管的单向导电性 三极管的放大作用(不要求机理)

超导现象

4. 磁场

电流的磁场 磁感应强度 磁感线 匀强磁场 长直导线中的电流的磁场

安培力 洛伦兹力 电子荷质比的测定 质谱仪 回旋加速器

5. 电磁感应

法拉第电磁感应定律

楞次定律 *感应电场(涡旋电场)

自感系数

互感和变压器

6. 交流电

交流发电机原理 交流电的最大值和有效值

纯电阻、纯电感、纯电容电路

整流、滤波和稳压

三相交流电及其连接法 * 感应电动机原理

7. 电磁振荡和电磁波

电磁振荡 振荡电路及振荡频率

电磁场和电磁波 电磁波的波速 赫兹实验

电磁波的发射和调制 电磁波的接收、调谐、检波

光 学

1. 几何光学

光的直进、反射、折射 全反射

光的色散 折射率与光速的关系

平面镜成像 球面镜成像公式及作图法

薄透镜成像公式及作图法

眼睛 放大镜 显微镜 望远镜

2. 波动光学

光程

光的干涉和衍射 双缝干涉 单缝衍射

光谱和光谱分析 电磁波谱

近代物理

1. 光的本性

光电效应 爱因斯坦方程

光的波粒二象性 光子的能量与动量

2. 原子结构

卢瑟福实验 原子的核式结构

玻尔模型 用玻尔模型解释氢光谱 玻尔模型的局限性

原子的受激辐射 激光

3. 原子核

原子核的量级

天然放射现象 放射线的探测

质子的发现 中子的发现 原子核的组成

核反应方程

质能方程 裂变和聚变

“基本”粒子 * 夸克模型

4. * 不确定关系 * 实物粒子的波粒二象性

5. * 狭义相对论

爱因斯坦假设 时间和长度的相对论效应

相对论动量与能量 $p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$, $E = mc^2$

6. * 太阳系 银河系 宇宙和黑洞的初步知识

数学基础

1. 中学阶段全部初等数学(包括解析几何)

2. 矢量的合成和分解 极限、无限大和无限小的初步概念

3. 不要求用微积分进行推导或运算

二、实 验

1. 复赛实验试题从全国中学生物理竞赛常委会组编的《全国中学生物理竞赛实验指导书》中选定。

2. 本内容提要的“理论基础”和《全国中学生物理竞赛实验指导书》是决赛实验的基础。

三、其他方面

物理竞赛的内容有一部分有较大的开阔性,主要包括以下三方面:

1. 物理知识在各方面的应用.对自然界、生产和日常生活中一些物理现象的解释.
2. 近代物理的一些重大成果和现代的一些重大信息.
3. 一些有重要贡献的物理学家的姓名和他们的主要贡献.

联合国大会关于 2005 年为
“国际物理年”的决议:



- 认识到物理学为了解自然界提供了重要基础;
- 注意到物理学及其应用是当今众多技术进步的基石;
- 确信物理教育提供了建设人类发展所必须的科学基础;
- 意识到 2005 年是爱因斯坦关键性科学发现一百周年,这些发现为现代物理学奠定了基础;
- 欢迎联合国教科文组织宣布 2005 年为国际物理年;
- 邀请联合国教科文组织,与世界各国,包括发展中国家的物理学会和团体一道,组织活动庆祝 2005 年国际物理年;
- 宣告 2005 年为国际物理年.

该决议在 2004 年 6 月 10 日的联合国第 58 次大会上通过.

在第 21 届全国中学生物理竞赛 决赛颁奖大会暨闭幕式上的讲话

重庆市科协主席、重庆大学党委书记 祝家麟

各位领导、各位委员、同学们、朋友们:

第 21 届全国中学生物理竞赛决赛今天就要闭幕了.首先请允许我代表竞赛决赛组委会向获奖选手表示热烈的祝贺!向精心培育他们的学校、老师和家长表示衷心的感谢!

全国中学生物理竞赛是国家教育部委托,中国科协直接领导,由中国物理学会主办,各省、市、自治区自愿参加的群众性的课外学科竞赛活动.2002 年 10 月,重庆市物理学会在得到重庆市科协、市教委的同意和支持后,在河南郑州举办的“第 19 届全国中学生物理竞赛决赛”期间,代表重庆市向全国中学生物理竞赛委员会提出了承办“第 21 届全国中学生物理竞赛决赛”的申请,经全国中学生物理竞赛委员会研究同意后,重庆市获得了本届竞赛决赛的承办权.

承办这种最高水平的全国中学生物理竞赛决赛在重庆还是第一次.重庆市科协、市教委、市物理学会、重庆市第一中学、重庆大学、重庆师范大学、重庆教育科学研究院作为具体承办单位,高度重视本届竞赛决赛的组织准备工作,于 2003 年初开始筹备.一是组建了竞赛决赛组委会.2004 年 5 月,在与承办单位各方协商后,市科协向市政府上报了《关于成立第 21 届全国中学生物理竞赛(决赛)组织委员会的请示》,获得市政府批准.二是做好经费筹措工作.本次竞赛决赛申请到了市财政的专项经费和有关单位、企业的大力支持和协助,为各项工作的顺利推进提

供了经费保障.三是做好各项服务工作.组委会从今年2月起,先后多次召开工作会议,就竞赛命题、审题、考务、会务以及宣传报道等工作进行了布置和落实,并全力以赴做好预赛、复赛、决赛试题的命题和决赛的服务工作.特别是决赛开赛以来的这6天里,组委会热情、细致地做好了各方的协调和服务,保证了各项决赛议程的顺利进行,达到了预期目标.四是做好宣传报道工作.为使广大市民关注和了解这次全国性的物理竞赛活动,组委会召开了竞赛决赛新闻发布会,我市各主要媒体对本届竞赛决赛都作了较为全面的采访和报道,产生了广泛的社会影响.

本届竞赛决赛的各项工作得到了市委市政府的重视、关心和支持,得到了重庆力帆实业(集团)有限公司、重庆市第八中学、巴县中学、合川中学的鼎力相助,得到了新闻媒体的大力支持.在此,我谨代表本届竞赛决赛组委会表示衷心的感谢!

在本届竞赛决赛的组织、协调和服务工作中,如有不周到的地方,请各方谅解.在此,我预祝下届全国中学生物理竞赛取得更大成功!

谢谢大家!

2004年10月20日

第21届全国中学生物理竞赛闭幕词

全国中学生物理竞赛委员会副主任 贾起民

各位领导、各位来宾、各位老师、各位同学:

第21届全国竞赛的各项活动已胜利完成.在本届竞赛中,全国有328134名中学生参加了预赛;20817名中学生参加了复赛的理论考试;173位学生参加了决赛,其中女同学15名.请允许我代表全国竞赛委员会向在决赛中获奖的同学以及在省、市、自治区赛区获奖的同学表示热烈祝贺!向全国中学物理老师、特别是培育获奖同学的老师们表示崇高的敬意和衷心的感谢!

本届物理竞赛的承办单位是重庆市科协、重庆市教委、重庆市物理学会、重庆市教科院、重庆大学、重庆师范大学和重庆市第一中学,协办单位是重庆市第八中学、重庆市巴县中学、重庆市合川中学和重庆力帆集团.在筹办过程中,我们始终得到了重庆市委、市人大、市人民政府等领导部门的关怀和大力支持.本届物理竞赛的命题是由重庆师范大学、重庆大学、北京大学、清华大学、北京师范大学、首都师范大学和复旦大学的老师们承担的;阅卷评分工作是由重庆师范大学、西南师范大学和重庆大学的老师们承担的.北京大学、清华大学、复旦大学、中国科技大学和上海交通大学以及《物理通报》杂志社亦为本届竞赛提供了资助,《大学物理》编辑部在工作上给了多方面的帮助.我谨代表全国竞赛委员会向以上各单位的领导和同志们表示诚挚的感谢!

在座的获奖同学通过预赛、复赛才进入决赛,在决赛中取得了很好的成绩,这成绩是过五关、斩六将,经过了艰苦努力才取得的,是值得祝贺的.但是,同学们是否想过你们为什么要参加

物理竞赛？有的同学可能根本没有多想，就是因为自己喜欢物理，所以便参加了物理竞赛；有的同学可能是想通过竞赛取得免掉高考、进入理想的大学和理想的专业的保送生资格。如果仅是出于后一原因，那么现在你们中的大多数人的目的已经达到了。所以我要追问一下，发奖大会以后，你们将作何打算？有的学生可能打算好好学一点外语和计算机或自学一点高等数学，为进入大学、读好大学作一点准备，甚至为出国深造作好准备。如果是这样，可再想一下，读好了名牌大学，出国深造之后又作何打算？有的可能是希望找到一份理想的工作，获得一份理想的收入，等等。我认为，有这些想法都是正确的，这种想法往往也是你们的父母所期望的。因为我们都是人，是食人间烟火的，总希望有一个良好的生活环境；不能安居就很难乐业。但是仅仅只有这种想法似乎太简单、太基本了一点。因为在我国目前的条件下，一个大学毕业生，尤其是优秀的大学毕业生，要达到这一目标并不十分困难。记得像我这样的人，在像你们这样的年龄的年代，谁希望将来拥用“汽车、洋房”，那是要作为资产阶级思想来批判的。而在今天，有一辆汽车，有一套好的住房的人已相当多了。当然，对汽车、洋房豪华程度的追求是无止境的，但是世界上的不少巨富、大实业家他们倒不一定在追求豪华、名牌上化过大的功夫，他们把发展自己的事业，在一定程度上变成了一种兴趣。在座的获奖同学除了要考虑满足生活上要求的基本问题外，一定还在考虑一些更远大的问题，因为我们都是人类社会的一员，我们还应回报社会，对社会作出一些贡献。只有我们大家都有贡献于社会，社会才能发展，才能进步，我们的物质生活和精神生活才可能进一步改善。在这里不妨介绍一下爱因斯坦的看法。爱因斯坦认为“个人之所以成为个人，以及他的生存之所以有意义，与其说是依靠着他个人的力量，不如说是由于他是伟大人类社

会的一个成员，从生到死，社会都支配着他的物质生活和精神生活。一个人对社会的价值首先取决于他的感情、思想和行动对增进人类利益有多大作用。”他又说：“人只有献身于社会，才能找出那实际上是短暂而有风险的生命的意义”。基于这样的认识，爱因斯坦不仅作为一位伟大的、出色的物理学家，他在狭义相对论、广义相对论、量子论、分子动理论、宇宙学和统一场论等领域对人类作出了巨大的贡献，而且总是以严肃、热情的态度去关心社会，关心政治，关心整个人类事务。他一贯反对侵略战争，反对军国主义和法西斯主义，反对民族压迫和种族歧视。“九一八”事变后他还一再呼吁，用联合的经济抵制办法制止日本对中国的军事侵略。

任何人都可能从事一种职业，在一个岗位上通过自己的努力对社会作出贡献，这便是所谓“三百六十行，行行出状元”。同学们参加的是物理竞赛，这表明你们对物理比较喜欢，比较有兴趣，甚至非常有兴趣。如果你们中间有些人真的对物理非常有兴趣，我希望这些人不要轻易改变自己的兴趣，不要因受到来自不同方面的影响甚至压力而被迫改变自己的兴趣，因为从事物理或与物理有关的工作是可以对社会作出贡献甚至作出重大贡献的。我曾遇到一个学生，他对物理非常有兴趣，但在他考大学时正值我国房地产开始热起来，一些大学办起了与房地产有关的专业。迫于父母的压力，这位学生报考了房地产专业。进校上了几周的课，他大失所望，感到非常痛苦。如果一个人对所从事的工作没有兴趣，甚至感到痛苦，恐怕是很难通过他的工作对社会作出贡献的。

物理学是一门生命力非常旺盛、有力地促进科学技术革命、对经济和社会发展起着极其重大作用的学科。尽管物理学的发展并不一帆风顺，有停滞，有危机，但物理学的发展的步伐始终

没有停下.进入19世纪,物理学(实际上应是古典物理学)被认为已发展到达了顶峰.那时的情况是:伽利略和牛顿奠定了经典力学的基础;经典力学的建立有力促进了建筑学、工程学的发展.通过托马斯·杨和菲涅耳的努力,光的波动理论得到复活和发展,推翻了光的发射论(微粒说)的绝对统治地位.生产实践特别是蒸汽机的研究和发展的需要,促使了能量守恒定律的发现和热力学的建立.根据牛顿引力理论的预测,发现了海王星,显示了这一理论的惊人威力.由麦克斯韦、玻尔兹曼等人的工作,用牛顿理论来处理大量分子的气体分子动力理论取得了重大进展.至此,大至宏观的日月星辰,小至微观的分子原子,无不为牛顿理论体系所包罗;而法拉第和麦克斯韦电磁理论的建立,又创建了电力工程和无线电技术科学.物理学在19世纪所取得的这一系列辉煌成就,古典物理在各条战线上的胜利,使当时不少物理学家认为物理学已发展到了顶峰,今后只能在细节上作些补充和发展,甚至认为物理学家已无事可做了,余下的工作仅是工程师的任务了.那时德国慕尼黑大学的实验物理学教授约利就曾劝他的学生普朗克(提出量子论的大物理学家)不要学物理,因为物理理论已经完成了,没有可供青年一代大显身手的余地了.当时的一些大物理学家如开尔文、迈克耳孙等人也公开说过,未来的物理学真理只有到小数点后面的第六位数字里去寻找了.正当人们为古典物理学欢呼万岁的时候,却出现了为古典理论无法解释的一些实验事实,旧理论出现了危机.迈克耳孙和莫雷的以太漂移实验不符合电磁理论的要求,实验测得的固体的比热不能用当时的理论来解释,X射线的发现表明物理学还有广阔的亟待探索的领域,放射性和电子的发现严重地冲击着原子不可分和元素不变的传统观念.尽管当时一些物理学家对这些事实的看法不一,甚至不完全相信,但都不得不承认“在古

典物理理论的万里晴空中出现了两朵乌云”.正是这两朵乌云,爆发了物理学革命的风暴,产生了20世纪物理学的两大理论——相对论和量子论.

相对论和量子论以及以后发展成的量子力学,奠定了近代物理学的基础,使20世纪成为物理学史上最富有创造性的年代.近代物理学所揭露的新的概念和事实,令人振奋地刷新了世界的面貌,促进了原子能、半导体、电子计算机、激光等的广泛应用.20世纪80年代以来,一场以高技术为核心的科技革命,揭开了世界科技发展史上新的一页.高技术是指对社会经济发展起极大推动作用的当代尖端技术或技术群,这些技术或技术群有能源技术、材料技术、信息技术、生物技术、空间技术和海洋技术等.如果以这些高技术为线索来看物理学对高技术的影响,可以毫不夸张地说,很难举出哪一个高技术领域是和物理学无关的.

也许有些同学还不太了解物理学与生物技术的关系.生物技术作为一种高技术,起源于近年来对遗传信息的破译,从而可以通过基因的剪裁重组、细胞融合等方法在分子水平上改进生物性状,这预示着农业、医药方面的一场革命.我们都知道,从19世纪起,生物学家在生物遗传方面进行了大量研究工作,在孟德尔、摩根、缪勒等人所得规律的基础上提出了基因假设.但是,基因的物质基础问题仍然是一个疑问.量子力学的创始人之一薛定谔晚年投身生命科学的研究,1944年他出版了《生命是什么——活细胞的物理观》一书,震惊了科学界.在这本书中,薛定谔提出了三个著名的观点:1.生命以负熵为生(熵是由热力学第二定律引入的一个描写状态的函数;内能也是一个描写状态的函数,不过它是由热力学第一定律引入的).2.遗传的物质基础是有机分子,遗传是以密码的形式通过染色体来传递的.3.生

命体系中存在量子跃迁现象。薛定谔的贡献,不仅仅在于引入物理学的概念来解释生命,更深远的意义是他开创了用物理学和化学的理论、方法和实验手段去研究生物学的先河。他将生命现象的解释提高到了更微观的水平——分子水平;他提出的把探测物质结构的 X 射线衍射技术用到对生命物质的有机结构研究,使生物学从定性描述走向定量研究。薛定谔还提出了“遗传密码”概念,它究竟包含什么实在的内容,在当时科学家并不明确。年轻的美国遗传学博士沃森,早在大学期间就着迷于薛定谔的《生命是什么?》一书。研究生毕业后,他怀着寻找生命奥秘的热切愿望,离开美国来到英国剑桥大学著名的卡文迪许实验室。在这里他幸运地遇到了物理学家克里克,克里克同样受到薛定谔的《生命是什么?》一书的启发,对书中提出的“对生物学的一些基本问题,可用物理学和化学概念,以精确的措词进行思考”等观念表现出极大兴趣。两位科学家相互取长补短,共同合作,于 1953 年 4 月终于向世人提出了美妙的 DNA 的双螺旋结构模型。这一重大科学突破揭开了 DNA 的分子结构及其功能的奥秘,正式宣告了分子生物学的诞生,也开辟了生命科学研究的新时代。为此,沃森和克里克荣获 1962 年诺贝尔生理学或医学奖。随着 DNA 结构的发现,科学家们围绕遗传基因、遗传密码、遗传信息传递等基本问题开始了一系列深入的研究。了解了这段历史,物理学与作为高技术的生物技术的关系不言自明了。

物理学研究成果源源不断地在高技术发展中得到应用,而高技术的发展又对物理学提出层出不穷的研究课题,从事物理学工作的人的任务将越来越重。21 世纪高技术的一个重要特点可能是信息技术广泛应用于各个部门,微观世界的规律进一步深化和渗透到各个领域。物理学中的一些传统学科,如力学、电磁学、热力学等逐渐成为单独的学科已经或正在从物理学中

分离出去,而物理学和其他基础学科相结合又形成了许多交叉学科,如化学物理、生物物理、天体物理、大气物理、地球物理、海洋物理等,这些学科都将成为 21 世纪最有发展前途的学科。现在仍留在物理学中的相对独立的分支,如高能物理(又称粒子物理)、核物理、凝聚态物、原子物理和分子物理、光物理、等离子体物理、理论物理等都在向纵深发展。物理学的深入研究必将产生现在还不可完全预料的成就,对高技术的发展一定会产生更加重大的影响。同学们喜欢物理是喜欢对了!希望你们沿着自己喜欢的方向一往无前、百折不挠地向前迈进。

我所说的“前”是广义的,代表一个极其广大的天地。它可以是物理学自身的各学科,也可以是与物理学有关的其他自然科学,更可以是与物理学密切相关的各种高技术学科。你们将来从事哪方面的工作,在进大学时是一次选择,在读研究生时还可以有一次选择,即使工作以后仍有选择的机会。因为现在已不是一个人被分配在一个单位,一辈子从事同一种工作,像螺丝钉那样被按在同一地方一辈子的年代了。我曾有一个学生,是学理论物理的,出国后在杨振宁先生那里作研究生,在他作研究生的后期,接受杨先生的建议,涉足生物领域,现在美国生物界已小有名气;我系文革前的一位学理论物理的研究生,离开复旦后从事生物物理方面的研究,现已是中科院生物学科的院士。可以说,物理学的基础、在学习物理过程中形成的学习能力、治学方法和思维方式是转入任何领域从事任何工作特别是具有开创性的工作的重要基础。学了物理,即使以后不直接从事物理方面的工作,也是很有作用的,都会帮助你们在不同的领域做出创造性的成果。

各位领导、各位来宾、各位老师、各位同学,全国竞赛委员会已决定,第 22 届全国中学生物理竞赛将于 2005 年 9 月 4 日举行

预赛,9月24日举行复赛的理论考试.决赛活动将于10月15日在辽宁省沈阳市举行,由辽宁省物理学会和东北大学等单位承办;辽宁的同志们已经开始了各项筹备工作.我谨代表全国竞赛委员会向辽宁的同志们表示衷心的感谢,并预祝第22届全国中学生物理竞赛取得更大的成功!

谢谢大家!

2004年10月20日

第21届全国中学生物理竞赛

全国竞赛委员会、组织委员会、

评奖组及获奖学生名单

全国竞赛委员会名单

名誉主任:沈克琦

主任:丛树桐

副主任:(按姓氏笔画排列)

孙煜 林纯镇 祁有龙 夏学江 祝家麟

贾起民 梁竹健 喀兴林

委员:(按姓氏笔画排列)

王安华(基教司)	马勇(重庆)	卞伯达(福建)
王松滨(内蒙古)	王秉超(吉林)	刘觉平(湖北)
刘聚成(陕西)	匡乐满(湖南)	孙新平(特邀)
朱仕文(辽宁)	朱琼瑞(广东)	何希庆(山东)
吴以勤(安徽)	吴祖仁(特邀)	张继达(理科班)
张馥宝(上海)	李一林(辽宁)	李子恒(北京)
李体莲(新疆)	李佛铨(江西)	李新建(河南)
杜安(辽宁)	杨世平(河北)	汪勃(重庆) 一等奖
陈潮红(宁夏)	周善东(广西)	孟宪茹(西藏) 一等奖
林红(海南)	管钦明(甘肃)	唐新科(青海) 余
夏英齐(云南)	陶纯匡(重庆)	高杰(天津) 一等奖
盛正卯(浙江)	蒲昭明(贵州)	虞仲博(山西) 一等奖
缪钟英(四川)	潘元胜(江苏)	霍雷(黑龙江)

组织委员会名单

名誉主任:黄奇帆 赵忠贤
主任:祝家麟
常务副主任:戴伟
副主任:彭智勇 唐一科 黄翔 鲁善坤 李芳昱
万明春
委员:张诗德 万力 陶纯匡 胡先权 杨祖旺
舒义海 王银峰 邹勤 彭栋明 张勇
秘书长:马勇
副秘书长:汪勃 陈永田 刘小渝

评奖组名单

丛树桐 贾起民 林纯镇 孙煜 梁竹健
祁有龙 胡先权 梁一平 杨素珍 冯庆
陶纯匡 韩忠

获奖学生名单

一等奖(29名)

徐晓波(上海) 戴明劼(理科班) 王肖友(上海)
余江雷(湖北) 李安(天津) 方力(广东)
程睿(吉林) 孟昭时(吉林) 陈轶(浙江)
谭一帆(上海) 李诣(湖北) 丁雅楠(辽宁女)
赵祥明(湖南) 辛宇(江苏) 汪洋(天津)

高小井(浙江) 张鸣(河南) 蔡子星(湖北)
吉岩(新疆) 张嘉曦(重庆) 黄武杰(湖南)
李晗晗(湖北) 陈天琪(江苏女) 唐小森(辽宁女)
秦垠峰(吉林) 秦颖(重庆) 朱惠斌(广东)
王秋实(四川) 罗颖存(四川)

二等奖(62名)

李寅(山东) 朱军浩(浙江) 高阳(陕西)
巨龙(山西) 卢小川(天津) 史亦非(河南)
刘立腾(湖南) 宋晓啸(浙江) 庞阳阳(山西)
肖立(安徽) 黄梦初(山东) 孙永强(山东)
陈旻晖(浙江) 张寅达(辽宁) 李文喜(山西)
黄蒙(河北) 耿晨耀(江苏) 杨俊(上海)
饶先拓(湖南) 姜继(辽宁) 孙波(安徽)
张博尧(黑龙江) 周元(江苏) 邱石(河北)
曹志超(河北) 卓薇(湖南女) 李达梁(陕西)
杜德川(天津) 东方虎(理科班) 李承斌(广东)
李志弘(河北) 罗洁莹(广西女) 曾理(重庆)
伍世宁(广东) 姚伟焯(河北女) 李鑫(理科班)
余江波(江西) 郑诚(北京) 阮威(安徽)
吴多常(海南) 朱传仁(辽宁) 王春岩(辽宁女)
俞浩(江苏) 余怀强(重庆) 李阳(河南)
童哲(福建) 陈旭东(上海) 唐杨(四川)
郑辉(河南) 王强(江苏) 杨硕龙(江苏)
刘政豪(广西) 林科(四川) 宋建邦(河南)
王俊逸(天津女) 熊伟(江西) 李四维(四川)
巫书航(广西) 梁世博(吉林) 王哲(山西)
宋悦(陕西女) 谭志宏(广东)

三等奖(82名)

吴斌(浙江)	薛原(理科班)	洪然(黑龙江)
朱元恺(河南)	曹海韵(新疆)	宁君(安徽女)
冯晓君(广西)	魏博(山东)	郭泽磊(黑龙江)
尤少迪(理科班)	翟人宽(吉林)	王毅(山东)
何沛(北京)	林磊(福建)	于洋(吉林)
徐之恺(北京)	王种(云南)	程晓光(黑龙江)
张耀坤(理科班)	周海林(重庆)	季鏞(陕西)
申采为(云南)	刘飞翔(江西)	周健(四川)
黄俊灵(贵州)	陈浩(江苏)	张晓祎(江西)
谢肇谦(北京)	戴伟(新疆)	周于(海南)
熊超(江西)	刘琦(黑龙江)	王贤恺(湖南)
钱雅超(云南)	智怡(北京女)	高雅博(吉林女)
刘桐希(湖北女)	韩正一(黑龙江)	冯伟(新疆)
严钊(海南)	齐济(理科班)	魏争(北京)
刘哲辉(新疆)	王烨(北京)	臧鑫(重庆)
曾妍(山西女)	江文龙(安徽)	谢俊逸(广西)
叶伟(福建)	陈鹏(福建)	鲍瑞敏(福建)
包锴(重庆)	蒋厚强(湖北)	李竞(重庆)
王栋(山东)	龚敏彦(云南)	阙瑞义(陕西)
陈春林(甘肃)	刘嘉(宁夏)	安广宇(内蒙古)
李思宏(内蒙古)	邢可(海南)	石磊(重庆)
刘文杰(内蒙古)	张康(甘肃)	汪博文(宁夏)
曾毅(广东)	冯俊(贵州)	李云翔(海南)
雍泽辉(宁夏)	田向阳(内蒙古)	王贵重(内蒙古)
刘志亮(云南)	王滂(贵州)	党文冰(甘肃)
张绍林(贵州)	袁潇(贵州)	马生林(青海)

刘存杰(青海) 孙佳(宁夏女) 王礼鑫(青海)

丁玮(甘肃女)

单项奖

总成绩最佳奖:徐晓波(上海)

理论成绩最佳奖:徐晓波(上海)

实验成绩最佳奖:巨龙(山西)

女学生成绩最佳奖:丁雅楠(辽宁)



第 21 届全国中学生物理竞赛

试题及参考解答

预赛试题及参考解答

· 试题 ·

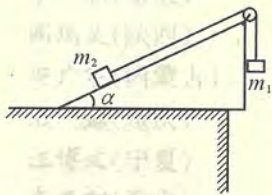
一、填空

- 原子大小的数量级为 _____ m.
- 原子核大小的数量级为 _____ m.
- 氢原子的质量约为 _____ kg.
- 一个可见光光子的能量的数量级为 _____ J.
- 在标准状态下, 1 cm^3 气体中的分子数约为 _____ .
(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

2. 已知某个平面镜反射的光能量为入射光能量的 80%. 试判断下列说法是否正确, 并简述理由.

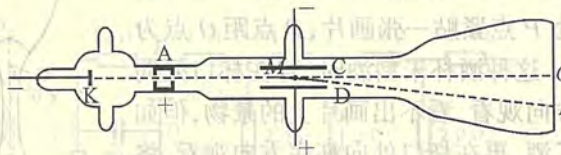
- 反射光子数为入射光子数的 80% ;
- 每个反射光子的能量是入射光子能量的 80% .

二、质量分别为 m_1 和 m_2 的两个小物块用轻绳连结, 绳跨过位于倾角 $\alpha = 30^\circ$ 的光滑斜面顶端的轻滑轮, 滑轮与转轴之间的摩擦不计, 斜面固定在水平桌面上, 如图所示. 第一次, m_1 悬挂, m_2 放在斜面上, 用 t 表示 m_2 自斜面底端由静止开始运动至斜面顶端所需的时间. 第二次, 将 m_1 和 m_2 位置互换, 使 m_2 悬挂, m_1 放在斜面上, 发现 m_1 自斜面



底端由静止开始运动至斜面顶端所需的时间为 $t/3$. 求 m_1 与 m_2 之比.

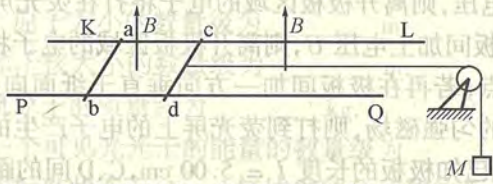
三、测定电子荷质比(电荷 q 与质量 m 之比 q/m) 的实验装置如图所示. 真空玻璃管内, 阴极 K 发出的电子, 经阳极 A 与阴极 K 之间的高电压加速后, 形成一束很细的电子流, 电子流以平行于平板电容器极板的速度进入两极板 C、D 间的区域. 若两极板 C、D 间无电压, 则离开极板区域的电子将打在荧光屏上的 O 点; 若在两极板间加上电压 U , 则离开极板区域的电子将打在荧光屏上的 P 点; 若再在极板间加一方向垂直于纸面向外、磁感应强度为 B 的匀强磁场, 则打到荧光屏上的电子产生的光点又回到 O 点. 现已知极板的长度 $l = 5.00 \text{ cm}$, C、D 间的距离 $d = 1.50 \text{ cm}$, 极板区的中点 M 到荧光屏中点 O 的距离为 $L = 12.50 \text{ cm}$, $U = 200 \text{ V}$, P 点到 O 点的距离 $y = \overline{OP} = 3.0 \text{ cm}$, $B = 6.3 \times 10^{-4} \text{ T}$. 试求电子的荷质比. (不计重力影响).



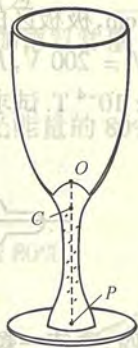
四、要使一颗人造地球通讯卫星(同步卫星)能覆盖赤道上海东经 75.0° 到东经 135.0° 之间的区域, 则卫星应定位在哪个经度范围内的上空? 地球半径 $R_0 = 6.37 \times 10^6 \text{ m}$. 地球表面处的重力加速度 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$.

五、如图所示, 两条平行的长直金属细导轨 KL、PQ 固定于同一水平面内, 它们之间的距离为 l , 电阻可忽略不计; ab 和 cd 是两根质量皆为 m 的金属细杆, 杆与导轨垂直, 且与导轨良好接触, 并可沿导轨无摩擦地滑动. 两杆的电阻皆为 R . 杆 cd 的中

点系一轻绳,绳的另一端绕过轻的定滑轮悬挂一质量为 M 的物体,滑轮与转轴之间的摩擦不计,滑轮与杆 cd 之间的轻绳处于水平伸直状态并与导轨平行.导轨和金属细杆都处于匀强磁场中,磁场方向垂直于导轨所在平面向上,磁感应强度的大小为 B .现两杆及悬物都从静止开始运动,当 ab 杆及 cd 杆的速度分别达到 v_1 和 v_2 时,两杆加速度的大小各为多少?



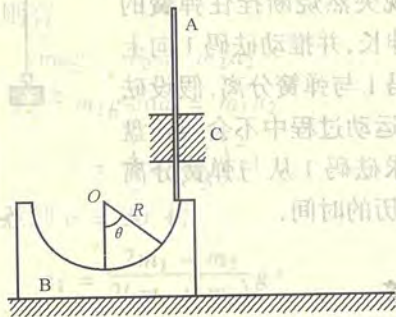
六、有一种高脚酒杯,如图所示.杯内底面为一凸起的球面,球心在顶点 O 下方玻璃中的 C 点,球面的半径 $R = 1.50 \text{ cm}$, O 到杯口平面的距离为 8.0 cm .在杯脚底中心处 P 点紧贴一张画片, P 点距 O 点为 6.3 cm .这种酒杯未斟酒时,若在杯口处向杯底方向观看,看不出画片上的景物,但如果斟了酒,再在杯口处向杯底方向观看,将看到画片上的景物.已知玻璃的折射率



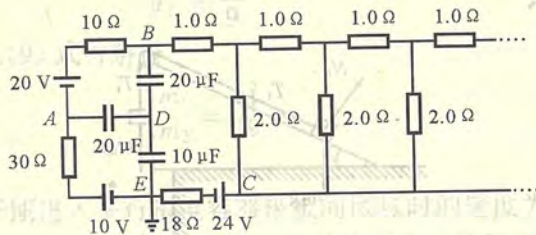
$n_1 = 1.56$,酒的折射率 $n_2 = 1.34$.试通过分析计算与论证解释这一现象.

七、如图所示, B 是质量为 m_B 、半径为 R 的光滑半球形碗,放在光滑的水平桌面上. A 是质量为 m_A 的细长直杆,被固定的光滑套管 C 约束在竖直方向, A 可自由上下运动.碗和杆的质量关系为: $m_B = 2m_A$.初始时, A 杆被握住,使其下端正好与碗的半球面的上边缘接触(如图).然后从静止开始释放 A , A 、 B 便开

始运动.设 A 杆的位置用 θ 表示, θ 为碗面的球心 O 至 A 杆下端与球面接触点的连线方向和竖直方向之间的夹角.求 A 与 B 速度的大小(表示成 θ 的函数).

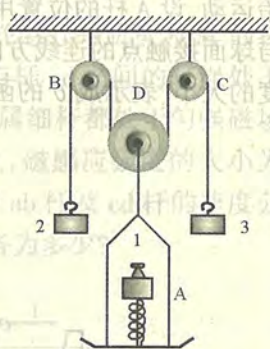


八、如图所示的电路中,各电源的内阻均为零,其中 B 、 C 两点与其右方由 1.0Ω 的电阻和 2.0Ω 的电阻构成的无穷组合电路相接.求图中 $10 \mu\text{F}$ 的电容器与 E 点相接的极板上的电荷量.



九、如图所示,定滑轮 B 、 C 与动滑轮 D 组成一滑轮组,各滑轮与转轴间的摩擦、滑轮的质量均不计.在动滑轮 D 上,悬挂有砝码托盘 A ,跨过滑轮组的不可伸长的轻线的两端各挂有砝码 2 和 3 .一根用轻线(图中穿过弹簧的那条竖直线)拴住的压缩轻弹簧竖直放置在托盘底上,弹簧的下端与托盘底固连,上端放有

砝码 1(两者未粘连). 已知三个砝码和砝码托盘的质量都是 m , 弹簧的劲度系数为 k , 压缩量为 l_0 , 整个系统处在静止状态. 现突然烧断拴住弹簧的轻线, 弹簧便伸长, 并推动砝码 1 向上运动, 直到砝码 1 与弹簧分离. 假设砝码 1 在以后的运动过程中不会与托盘的顶部相碰. 求砝码 1 从与弹簧分离至再次接触经历的时间.

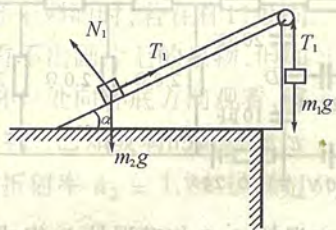


· 参考解答 ·

一、

1. $a \cdot 10^{-10}$, $b \cdot 10^{-15}$, $c \cdot 6.6 \times 10^{-27}$, $d \cdot 10^{-19}$, $e \cdot 2.7 \times 10^{19}$
2. a 正确, b 不正确. 理由: 反射时光频率 ν 不变, 这表明每个光子能量 $h\nu$ 不变.

二、



第一次, 小物块受力情况如图所示, 设 T_1 为绳中张力, a_1 为两物块加速度的大小, l 为斜面长, 则有

$$m_1 g - T_1 = m_1 a_1 \quad (1)$$

$$T_1 - m_2 g \sin \alpha = m_2 a_1 \quad (2)$$

$$l = \frac{1}{2} a_1 t^2 \quad (3)$$

第二次, m_1 与 m_2 交换位置. 设绳中张力为 T_2 , 两物块加速度的大小为 a_2 , 则有

$$m_2 g - T_2 = m_2 a_2 \quad (4)$$

$$T_2 - m_1 g \sin \alpha = m_1 a_2 \quad (5)$$

$$l = \frac{1}{2} a_2 \left(\frac{t}{3}\right)^2 \quad (6)$$

由(1)、(2)式注意到 $\alpha = 30^\circ$ 得

$$a_1 = \frac{2m_1 - m_2}{2(m_1 + m_2)} g \quad (7)$$

由(4)、(5)式注意到 $\alpha = 30^\circ$ 得

$$a_2 = \frac{2m_2 - m_1}{2(m_1 + m_2)} g \quad (8)$$

由(3)、(6)式得

$$a_1 = \frac{a_2}{9} \quad (9)$$

由(7)、(8)、(9)式可解得

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{11}{19} \quad (10)$$

三、

设电子刚进入平行板电容器极板间区域时的速度为 v_0 , 因为速度方向平行于电容器的极板, 通过长度为 l 的极板区域所需的时间

$$t_1 = \frac{l}{v_0} \quad (1)$$

当两极板之间加上电压时, 设两极板间的场强为 E , 作用于电子的静电力的大小为 qE 方向垂直于极板由 C 指向 D, 电子的加速度

$$a = \frac{qE}{m} \quad (2)$$

而

$$E = \frac{U}{d} \quad (3)$$

因电子在垂直于极板方向的初速度为零,因而在时间 t_1 内垂直于极板方向的位移

$$y_1 = \frac{1}{2} at_1^2 \quad (4)$$

电子离开极板区域时,沿垂直于极板方向的末速度

$$v_y = at_1 \quad (5)$$

设电子离开极板区域后,电子到达荧光屏上 P 点所需时间为 t_2

$$t_2 = \left(L - \frac{l}{2} \right) / v_0 \quad (6)$$

在 t_2 时间内,电子做匀速直线运动,在垂直于极板方向的位移

$$y_2 = v_y t_2 \quad (7)$$

P 点离开 O 点的距离等于电子在垂直于极板方向的总位移

$$y = y_1 + y_2 \quad (8)$$

由以上各式得电子的荷质比为

$$\frac{q}{m} = \frac{v_0^2 d}{UL} \quad (9)$$

加上磁场 B 后,荧光屏上的光点重新回到 O 点,表示在电子通过平行板电容器的过程中电子所受电场力与磁场力相等,即

$$qE = qv_0 B \quad (10)$$

注意到(3)式,可得电子射入平行板电容器的速度

$$v_0 = \frac{U}{Bd} \quad (11)$$

代入(9)式得

$$\frac{q}{m} = \frac{U}{B^2 l d} \quad (12)$$

代入有关数据求得

$$\frac{q}{m} = 1.6 \times 10^{11} \text{ C/kg} \quad (13)$$

四、

如图所示,圆为地球赤道, S 为卫星所在处,用 R 表示卫星运动轨道的半径,由万有引力定律、牛顿运动定律和卫星周期 T (亦即地球自转周期) 可得

$$G \frac{Mm}{R^2} = mR \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (1)$$

式中 M 为地球质量, G 为引力常量, m 为卫星质量.

另有

$$GM = R_0^2 g \quad (2)$$

由图可知

$$R \cos \theta = R_0 \quad (3)$$

由以上各式,可解得

$$\theta = \arccos \left(\frac{4\pi^2 R_0}{T^2 g} \right)^{1/3} \quad (4)$$

取 $T = 23$ 小时 56 分 4 秒 (或近似取 $T = 24$ 小时),代入数值,可得

$$\theta = 81.3^\circ \quad (5)$$

由此可知,卫星的定位范围在东经 $135.0^\circ - 81.3^\circ = 53.7^\circ$ 到 $75.0^\circ + 81.3^\circ = 156.3^\circ$ 之间的上空.

五、

用 \mathcal{E} 和 I 分别表示 $abcd$ 回路的感应电动势和感应电流的大



小,根据法拉第电磁感应定律和欧姆定律可知

$$\mathcal{E} = Bl(v_2 - v_1) \quad (1)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{2R} \quad (2)$$

令 F 表示磁场对每根杆的安培力的大小,则

$$F = IBl \quad (3)$$

令 a_1 和 a_2 分别表示 ab 杆、cd 杆和物体 M 加速度的大小, T 表示绳中张力的大小,由牛顿定律可知

$$F = ma_1 \quad (4)$$

$$Mg - T = ma_2 \quad (5)$$

$$T - F = ma_2 \quad (6)$$

由以上各式解得

$$a_1 = \frac{B^2 l^2 (v_2 - v_1)}{2Rm} \quad (7)$$

$$a_2 = \frac{2MgR - B^2 l^2 (v_2 - v_1)}{2(M + m)R} \quad (8)$$

六、

把酒杯放平,分析成像问题.

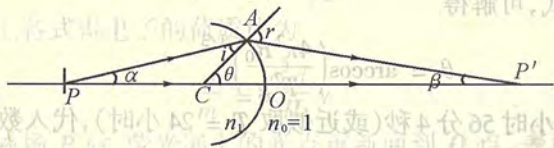


图 1

1. 未斟酒时,杯底凸球面的两侧介质的折射率分别为 n_1 和 $n_0 = 1$. 在图 1 中, P 为画片中心,由 P 发出经过球心 C 的光线 PO 经过顶点不变方向进入空气中;由 P 发出的与 PO 成 α 角的另一光线 PA 在 A 处折射. 设 A 处入射角为 i , 折射角为 r , 半径

CA 与 PO 的夹角为 θ , 由折射定律和几何关系可得

$$n_1 \sin i = n_0 \sin r \quad (1)$$

$$\theta = i + \alpha \quad (2)$$

在 $\triangle PAC$ 中,由正弦定理,有

$$\frac{R}{\sin \alpha} = \frac{PC}{\sin i} \quad (3)$$

考虑近轴光线成像, α 、 i 、 r 都是小角度,则有

$$r = \frac{n_1}{n_0} i \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{R}{PC} i \quad (5)$$

由(2)、(4)、(5)式, n_0 、 n_1 、 R 的数值及 $PC = PO - CO = 4.8$ cm, 可得

$$\theta = 1.31 i \quad (6)$$

$$r = 1.56 i \quad (7)$$

由(6)、(7)式有

$$r > \theta \quad (8)$$

由上式及图 1 可知,折射线将与 PO 延长线相交于 P' , P' 即为 P 点的实像. 画面将成实像于 P' 处.

在 $\triangle CAP'$ 中,由正弦定理有

$$\frac{R}{\sin \beta} = \frac{CP'}{\sin r} \quad (9)$$

又有

$$r = \theta + \beta \quad (10)$$

考虑到是近轴光线,由(9)、(10)式可得

$$\overline{CP'} = \frac{r}{r - \theta} R \quad (11)$$

又有

$$\overline{OP'} = \overline{CP'} - R \quad (12)$$

由以上各式并代入数据,可得

$$OP' = 7.9 \text{ cm} \quad (13)$$

由此可见,未斟酒时,画片上景物所成实像在杯口距 O 点 7.9 cm 处. 已知 O 到杯口平面的距离为 8.0 cm , 当人眼在杯口处向杯底方向观看时,该实像离人眼太近,所以看不出画片上的景物.

2. 斟酒后,杯底凸球面两侧介质分别为玻璃和酒,折射率分别为 n_1 和 n_2 , 如图 2 所示. 考虑到近轴光线有

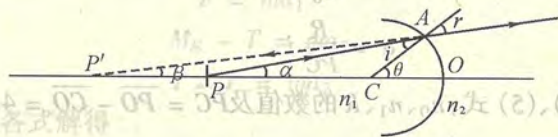


图 2

$$r = \frac{n_1}{n_2} i \quad (14)$$

代入 n_1 和 n_2 的值,可得

$$r = 1.16i \quad (15)$$

与(6)式比较,可知

$$r < \theta \quad (16)$$

由上式及图 2 可知,折射线将与 OP 延长线相交于 P' , P' 即为 P 点的虚像. 画面将成虚像于 P' 处. 计算可得

$$\overline{CP'} = \frac{r}{\theta - r} R \quad (17)$$

又有

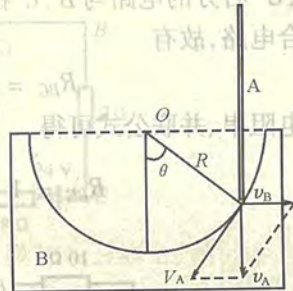
$$\overline{OP'} = \overline{CP'} + R \quad (18)$$

由以上各式并代入数据得

$$\overline{OP'} = 13 \text{ cm} \quad (19)$$

由此可见,斟酒后画片上景物成虚像于 P' 处,距 O 点 13 cm , 即距杯口 21 cm . 虽然该虚像还要因酒液平表面的折射而向杯口处拉近一定距离,但仍然离杯口处足够远,所以人眼在杯口处向杯底方向观看时,可以看到画片上景物的虚像.

七、由题设条件知,若从地面参考系观测,则任何时刻, A 沿竖直方向运动,设其速度为 v_A , B 沿水平方向运动,设其速度为 v_B . 若以 B 为参考系,从 B 观测,则 A 杆保持在竖直方向,它与碗的接触点在碗面内做半径为 R 的圆周运动,速度的方向与圆周相切,设其速度为 V_A . 杆相对地面的速度是杆相对碗的速度与碗相对地面的速度的合速度,速度合成的矢量图如图中的平行四边形所示. 由图得



$$V_A \sin \theta = v_A \quad (1)$$

$$V_A \cos \theta = v_B \quad (2)$$

因而

$$v_B = v_A \cot \theta \quad (3)$$

由能量守恒

$$m_A g R \cos \theta = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \quad (4)$$

由(3)、(4)两式及 $m_B = 2m_A$ 得

$$v_A = \sin \theta \sqrt{\frac{2gR \cos \theta}{1 + \cos^2 \theta}} \quad (5)$$

$$v_B = \cos \theta \sqrt{\frac{2gR \cos \theta}{1 + \cos^2 \theta}} \quad (6)$$

八、型、华、以、于、电、阻、等、效、电、阻、画、示、断、接、，、反、可、此、由、
而、设、 B 、 C 右方无穷组合电路的等效电阻为 R_{BC} ，则题图中通
有电流的电路可以简化为图 1 中的电路。 B 、 C 右方的电路又可
简化为图 2 的电路，其中 $R_{B'C'}$ 是虚线右方电路的等效电阻。由于
 B' 、 C' 右方的电路与 B 、 C 右方的电路结构相同，而且都是无穷
组合电路，故有

$$R_{BC} = R_{B'C'} \quad (1)$$

由电阻串、并联公式可得

$$R_{BC} = 1 + \frac{2R_{B'C'}}{2 + R_{B'C'}} \quad (2)$$

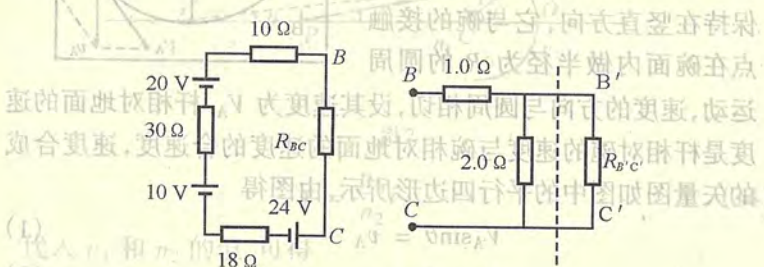


图 1

图 2

由(1)、(2)两式得

$$R_{BC}^2 - R_{BC} - 2 = 0$$

解得

$$R_{BC} = 2.0 \Omega \quad (3)$$

图 1 所示回路中的电流为

$$I = \frac{20 + 10 - 24}{10 + 30 + 18 + 2} A = 0.10 A \quad (4)$$

电流沿顺时针方向。

设电路中三个电容器的电容分别为 C_1 、 C_2 和 C_3 ，各电容器

极板上的电荷量分别为 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 ，极性如图 3 所示。由于电
荷守恒，在虚线框内，三个极板上电荷的代数和应为零，即

$$Q_1 + Q_3 - Q_2 = 0 \quad (5)$$

(1) 另有

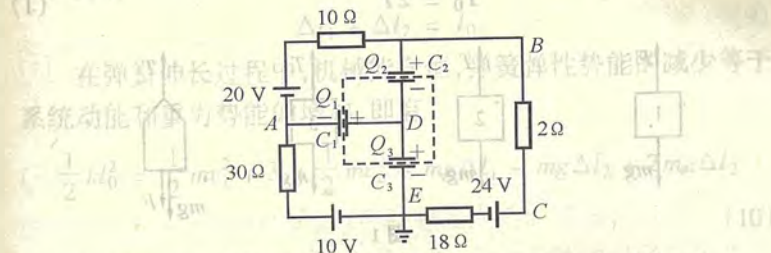


图 3

A 、 E 两点间的电势差

$$U_A - U_E = -\frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_3}{C_3} \quad (6)$$

又有

$$U_A - U_E = (10 - 30 \times 0.10) V = 7.0 V \quad (7)$$

B 、 E 两点间的电势差

$$U_B - U_E = \frac{Q_2}{C_2} + \frac{Q_3}{C_3} \quad (8)$$

又有

$$U_B - U_E = (24 + 20 \times 0.10) V = 26 V \quad (9)$$

根据(5)、(6)、(7)、(8)、(9) 式并代入 C_1 、 C_2 和 C_3 之值后得

$$Q_3 = 1.3 \times 10^{-4} C \quad (10)$$

即电容器 C_3 与 E 点相接的极板带负电，电荷量为 $1.3 \times 10^{-4} C$ 。

九、上、向、一、丁、四、已、撤、土、的、质、能、中、到、近、才、射、策、转、直
土、向、设、从、烧、断、线、到、砝、码、1 与、弹、簧、分、离、经、历、的、时、间、为、 Δt ，在、这、段、
时、间、内、，、各、砝、码、和、砝、码、托、盘、的、受、力、情、况、如、图、1 所、示、。、图、中、 F 表

示 Δt 时间内任意时刻弹簧的弹力, T 表示该时刻跨过滑轮组的轻绳中的张力, mg 为重力, T_0 为悬挂托盘的绳的拉力. 因 D 的质量忽略不计, 有

$$T_0 = 2T \quad (1)$$

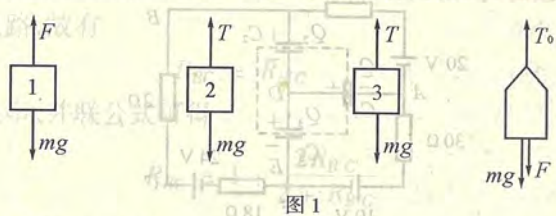


图 1

在时间 Δt 内任一时刻, 砝码 1 向上运动, 托盘向下运动, 砝码 2、3 则向上升起, 但砝码 2、3 与托盘速度的大小是相同的. 设在砝码 1 与弹簧分离的时刻, 砝码 1 的速度大小为 v_1 , 砝码 2、3 与托盘速度的大小都是 v_2 , 由动量定理, 有

$$I_F - I_{mg} = mv_1 \quad (2)$$

$$I_T - I_{mg} = mv_2 \quad (3)$$

$$I_T - I_{mg} = mv_2 \quad (4)$$

$$I_F + I_{mg} - I_{T_0} = mv_2 \quad (5)$$

式中 I_F 、 I_{mg} 、 I_T 、 I_{T_0} 分别代表力 F 、 mg 、 T 、 T_0 在 Δt 时间内冲量的大小. 注意到(1)式, 有

$$I_{T_0} = 2I_T \quad (6)$$

由(2)、(3)、(4)、(5)、(6)各式得

$$v_2 = \frac{1}{3}v_1 \quad (7)$$

在弹簧伸长过程中, 弹簧的上端与砝码 1 一起向上运动, 下端与托盘一起向下运动. 以 Δl_1 表示在 Δt 时间内弹簧上端向上运动的距离, Δl_2 表示其下端向下运动的距离. 由于在弹簧伸长

过程中任意时刻, 托盘的速度都为砝码 1 的速度的 1/3, 故有

$$\Delta l_2 = \frac{1}{3}\Delta l_1 \quad (8)$$

另有

$$\Delta l_1 + \Delta l_2 = l_0 \quad (9)$$

在弹簧伸长过程中, 机械能守恒, 弹簧弹性势能的减少等于系统动能和重力势能的增加, 即有

$$\frac{1}{2}kl_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + 3 \times \frac{1}{2}mv_2^2 + mg\Delta l_1 - mg\Delta l_2 + 2mg\Delta l_2 \quad (10)$$

由(7)、(8)、(9)、(10)式得

$$v_1^2 = \frac{3}{2m} \left(\frac{1}{2}kl_0^2 - mgl_0 \right) \quad (11)$$

砝码 1 与弹簧分开后, 砝码做上抛运动, 上升到最大高度经历时间为 t_1 , 有

$$v_1 = gt_1 \quad (12)$$

砝码 2、3 和托盘的受力情况如图 2 所示, 以 a 表示加速度的大小, 有

$$mg - T = ma \quad (13)$$

$$mg - T = ma \quad (14)$$

$$T_0 - mg = ma \quad (15)$$

$$T_0 = 2T \quad (16)$$

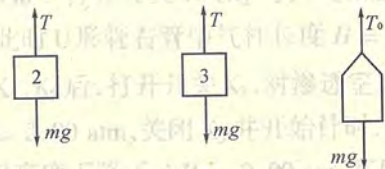


图 2

由(14)、(15)和(16)式得

$$a = \frac{1}{3}g = \frac{\Delta l}{\Delta t^2} \quad (17)$$

托盘的加速度向上,初速度 v_2 向下,设经历时间 t_2 ,托盘速度变为零,有

$$v_2 = at_2 \quad (18)$$

由(7)、(12)、(17)和(18)式,得

$$t_1 = t_2 = \frac{v_1}{g} \quad (19)$$

即砝码1自与弹簧分离到速度为零经历的时间与托盘自分离到速度为零经历的时间相等.由对称性可知,当砝码回到分离位置时,托盘亦回到分离位置,即再经历 t_1 ,砝码与弹簧相遇.题中要求的时间

$$t_{\text{总}} = 2t_1 \quad (20)$$

由(11)、(12)、(20)式得

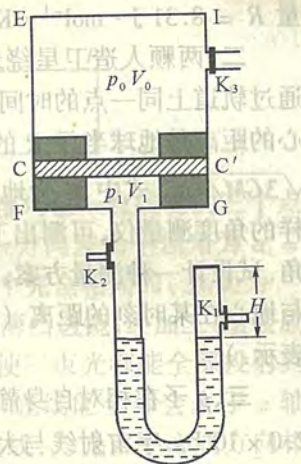
$$t_{\text{总}} = \frac{2}{g} \sqrt{\frac{3}{2m} \left(\frac{1}{2} kl_0^2 - mgl_0 \right)} \quad (21)$$

复赛理论试题及参考解答

· 试题 ·

一、薄膜材料气密性能的优劣常用其透气系数来加以评判.对于均匀薄膜材料,在一定温度下,某种气体通过薄膜渗透的气体分子数 $N = k \frac{\Delta p S t}{d}$,其中 t 为渗透持续时间, S 为薄膜的面积, d 为薄膜的厚度, Δp 为薄膜两侧气体的压强差. k 称为该薄膜材料在该温度下对该气体的透气系数.透气系数愈小,材料的气密性能愈好.

图为测定薄膜材料对空气的透气系数的一种实验装置示意图.



EFGI为渗透室, U形管左管上端与渗透室相通,右管上端封闭; U形管内横截面积 $A = 0.150 \text{ cm}^2$. 实验中,首先测得薄膜的厚度 $d = 0.66 \text{ mm}$,再将薄膜固定于图中 CC' 处,从而把渗透室分为上下两部分.上面部分的容积 $V_0 = 25.00 \text{ cm}^3$,下面部分连同 U形管左管水面以上部分的总容积为 V_1 ,薄膜能够透气的面积 $S = 1.00 \text{ cm}^2$. 打开开关 K_1 、 K_2 与大气相通,大气的压强 $p_1 = 1.00 \text{ atm}$,此时 U形管右管中气柱长度 $H = 20.00 \text{ cm}$, $V_1 = 5.00 \text{ cm}^3$. 关闭 K_1 、 K_2 后,打开开关 K_3 ,对渗透室上部分迅速充气至气体压强 $p_0 = 2.00 \text{ atm}$,关闭 K_3 并开始计时.两小时后, U形管左管中的水面高度下降了 $\Delta H = 2.00 \text{ cm}$. 实验过程中,始终

保持温度为 0°C . 求该薄膜材料在 0°C 时对空气的透气系数. (本实验中由于薄膜两侧的压强差在实验过程中不能保持恒定, 在压强差变化不太大的情况下, 可用计时开始时的压强差和计时结束时的压强差的平均值 $\overline{\Delta p}$ 来代替公式中的 Δp . 普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $1.00 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$.)

二、两颗人造卫星绕地球沿同一椭圆轨道同向运动, 它们通过轨道上同一点的时间相差半个周期. 已知轨道近地点离地心的距离是地球半径 R 的 2 倍, 卫星通过近地点时的速度 $v = \sqrt{3GM/4R}$, 式中 M 为地球质量, G 为引力常量. 卫星上装有同样的角度测量仪, 可测出卫星与任意两点的两条连线之间的夹角. 试设计一种测量方案, 利用这两个测量仪测定太空中某星体与地心在某时刻的距离. (最后结果要求用测得量和地球半径 R 表示.)

三、 μ 子在相对自身静止的惯性参考系中的平均寿命 $\tau_0 \approx 2.0 \times 10^{-6} \text{ s}$. 宇宙射线与大气在高空某处发生核反应产生一批 μ 子, 以 $v = 0.99c$ 的速度 (c 为真空中的光速) 向下运动并衰变. 根据放射性衰变定律, 相对给定惯性参考系, 若 $t = 0$ 时刻的粒子数为 $N(0)$, t 时刻剩余的粒子数为 $N(t)$, 则有 $N(t) = N(0)e^{-t/\tau}$, 式中 τ 为相对该惯性系粒子的平均寿命. 若能到达地面的 μ 子数为原来的 5%, 试估算 μ 子产生处相对于地面的高度 h . 不考虑重力和地磁场对 μ 子运动的影响.

四、目前, 大功率半导体激光器的主要结构形式是由许多发光区等距离地排列在一条直线上的长条状, 通常称为激光二极管管. 但这样的半导体激光器发出的是很多束发散光束, 光能分布很不集中, 不利于传输和应用. 为了解决这个问题, 需要根据具体应用的要求, 对光束进行必须的变换(或称整形). 如果能把一个半导体激光二极管管发出的光变换成一束很细的平行光

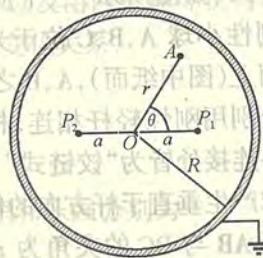
束, 对半导体激光的传输和应用将是非常有意义的. 为此, 有人提出了先把多束发散光会聚到一点, 再变换为平行光的方案, 其基本原理可通过如下所述的简化了的情况来说明.



如图, S_1, S_2, S_3 是等距离(h)地排列在一直线上的三个点光源, 各自向垂直于它们的连线的同一方向发出半顶角为 $\alpha = \arctan(1/4)$ 的圆锥形光束. 请使用三个完全相同的、焦距为 $f = 1.50h$ 、半径为 $r = 0.75h$ 的圆形薄凸透镜, 经加工、组装成一个三者在同一平面内的组合透镜, 使三束光都能全部投射到这个组合透镜上, 且经透镜折射后的光线能全部会聚于 z 轴(以 S_2 为起点, 垂直于三个点光源连线, 与光束中心线方向相同的射线)上距离 S_2 为 $L = 12.0h$ 处的 P 点. (加工时可对透镜进行外形的改变, 但不能改变透镜焦距.)

1. 求出组合透镜中每个透镜光心的位置.
2. 说明对三个透镜应如何加工和组装, 并求出有关数据.

五、如图所示, 接地的空心导体球壳内半径为 R , 在空腔内一直径上的 P_1 和 P_2 处, 放置电量分别为 q_1 和 q_2 的点电荷, $q_1 = q_2 = q$, 两点电荷到球心的距离均为 a . 由静电感应与静电屏蔽可知: 导体空腔内表面将出现感应电荷分布, 感应电荷电量等于 $-2q$. 空腔内部的电场是由 q_1, q_2 和两者在空腔

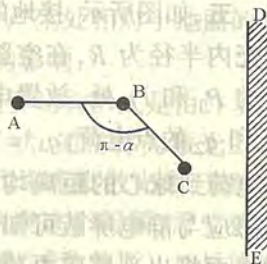


内表面上的感应电荷共同产生的. 由于我们尚不知道这些感应电荷是怎样分布的, 所以很难用场强叠加原理直接求得腔内的电势或场强. 但理论上可以证明, 感应电荷对腔内电场的贡献, 可用假想的位于腔外的(等效)点电荷来代替[在本题中假想(等效)点电荷应为两个], 只要假想的(等效)点电荷的位置和电量能满足这样的条件, 即: 设想将整个导体壳去掉, 由 q_1 在原空腔内表面的感应电荷的假想(等效)点电荷 q_1' 与 q_1 共同产生的电场在原空腔内表面所在位置处各点的电势皆为零; 由 q_2 在原空腔内表面的感应电荷的假想(等效)点电荷 q_2' 与 q_2 共同产生的电场在原空腔内表面所在位置处各点的电势皆为零. 这样确定的假想电荷叫做感应电荷的等效电荷, 而且这样确定的等效电荷是唯一的. 等效电荷取代感应电荷后, 可用等效电荷 q_1' 、 q_2' 和 q_1 、 q_2 来计算原来导体存在时空腔内部任意点的电势或场强.

1. 试根据上述条件, 确定假想等效电荷 q_1' 、 q_2' 的位置及电量.

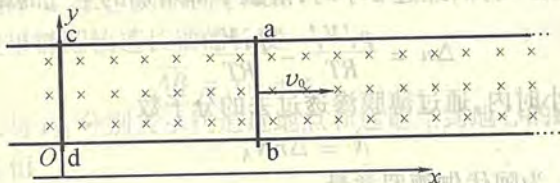
2. 求空腔内部任意点 A 的电势 U_A . 已知 A 点到球心 O 的距离为 r , \overline{OA} 与 $\overline{OP_1}$ 的夹角为 θ .

六、如图所示, 三个质量都是 m 的刚性小球 A、B、C 位于光滑的水平桌面上(图中纸面), A、B 之间, B、C 之间分别用刚性轻杆相连, 杆与 A、B、C 的各连接处皆为“铰链式”的(不能对小球产生垂直于杆方向的作用力). 已知杆 AB 与 BC 的夹角为 $\pi - \alpha$, $\alpha < \pi/2$. DE 为固定在桌面上一块挡板, 它与 AB 连线方向垂直. 现令 A、B、C 一起以共同的速度 v 沿平行于 AB 连线方向向 DE 运动,



已知在 C 与挡板碰撞过程中 C 与挡板之间无摩擦力作用, 求碰撞时当 C 沿垂直于 DE 方向的速度由 v 变为零这一极短时间内挡板对 C 的冲量的大小.

七、如图所示, 有二平行金属导轨, 相距 l , 位于同一水平面内(图中纸面), 处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 磁场方向竖直向下(垂直纸面向里). 质量均为 m 的两金属杆 ab 和 cd 放在导轨上, 与导轨垂直. 初始时刻, 金属杆 ab 和 cd 分别位于 $x = x_0$ 和 $x = 0$ 处. 假设导轨及金属杆的电阻都为零, 由两金属杆与导轨构成的回路的自感系数为 L . 今对金属杆 ab 施以沿导轨向



右的瞬时冲量, 使它获得初速 v_0 . 设导轨足够长, x_0 也足够大, 在运动过程中, 两金属杆之间距离的变化远小于两金属杆的初始间距 x_0 , 因而可以认为在杆运动过程中由两金属杆与导轨构成的回路的自感系数 L 是恒定不变的. 杆与导轨之间摩擦可不计. 求任意时刻两杆的位置 x_{ab} 和 x_{cd} 以及由两杆和导轨构成的回路中的电流 i 三者各自随时间 t 的变化关系.

· 参考解答 ·

一、开始时 U 形管右管中空气的体积和压强分别为

$$V_2 = HA \quad (1)$$

$$p_2 = p_1$$

经过 2 小时, U 形管右管中空气的体积和压强分别为

$$V_2' = (H - \Delta H)A \quad (2)$$

$$p_2' = \frac{p_2 V_2}{V_2'} \quad (3)$$

渗透室下部连同 U 形管左管水面以上部分气体的总体积和压强分别为

$$V_1' = V_1 + \Delta HA \quad (4)$$

$$p_1 = p_2' + 2\rho g \Delta H \quad (5)$$

式中 ρ 为水的密度, g 为重力加速度. 由理想气体状态方程 $pV = nRT$ 可知, 经过 2 小时, 薄膜下部增加的空气的摩尔数

$$\Delta n = \frac{p_1' V_1'}{RT} - \frac{p_1 V_1}{RT} \quad (6)$$

在 2 个小时内, 通过薄膜渗透过去的分子数

$$N = \Delta n N_A \quad (7)$$

式中 N_A 为阿伏伽德罗常量.

渗透室上部空气的摩尔数减少, 压强下降, 下降了 Δp

$$\Delta p = \frac{\Delta n RT}{V_0} \quad (8)$$

经过 2 小时渗透室上部分中空气的压强为

$$p_0' = p_0 - \Delta p \quad (9)$$

测试过程的平均压强差

$$\overline{\Delta p} = \frac{1}{2} [(p_0 - p_1) + (p_0' - p_1')] \quad (10)$$

根据定义, 由以上各式和有关数据, 可求得该薄膜材料在 0°C 时对空气的透气系数

$$k = \frac{Nd}{\Delta p t S} = 2.4 \times 10^{11} \text{ Pa}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \quad (11)$$

二、

如图, 卫星绕地球运动的轨道为一椭圆, 地心位于轨道椭圆的一个焦点 O 处, 设待测量星体位于 C 处. 根据题意, 当一个卫星运动到轨道的近地点 A 时, 另一个卫星恰好到达远地点 B 处, 只要位于 A 点的卫星用角度测量仪测出 AO 和 AC 的夹角 α_1 , 位于 B 点的卫星用角度测量仪测出 BO 和 BC 的夹角 α_2 , 就可以计算出此时星体 C 与地心的距离 OC .



因卫星椭圆轨道长轴的长度

$$\overline{AB} = r_{\text{近}} + r_{\text{远}} \quad (1)$$

式中 $r_{\text{近}}$ 、与 $r_{\text{远}}$ 分别表示轨道近地点和远地点到地心的距离. 由角动量守恒

$$mv_{\text{近}} r_{\text{近}} = mv_{\text{远}} r_{\text{远}} \quad (2)$$

式中 m 为卫星的质量. 由机械能守恒

$$\frac{1}{2} mv_{\text{近}}^2 - \frac{GMm}{r_{\text{近}}} = \frac{1}{2} mv_{\text{远}}^2 - \frac{GMm}{r_{\text{远}}} \quad (3)$$

已知

$$r_{\text{近}} = 2R, \quad v_{\text{近}} = \sqrt{\frac{3}{4} \frac{GM}{R}} \quad (4)$$

得

$$r_{\text{远}} = 6R$$

所以

$$\overline{AB} = 2R + 6R = 8R \quad (5)$$

在 $\triangle ABC$ 中用正弦定理

$$\frac{\sin \alpha_1}{BC} = \frac{\sin(\pi - \alpha_1 - \alpha_2)}{AB} \quad (6)$$

所以

$$\overline{BC} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \overline{AB} \quad (7)$$

地心与星体之间的距离为 \overline{OC} , 在 $\triangle BOC$ 中用余弦定理

$$\overline{OC}^2 = r_{\text{远}}^2 + \overline{BC}^2 - 2r_{\text{远}} \cdot \overline{BC} \cos\alpha_2 \quad (8)$$

由(4)、(5)、(7)式得

$$\overline{OC} = 2R \sqrt{9 + 16 \frac{\sin^2\alpha_1}{\sin^2(\alpha_1 + \alpha_2)} - 24 \frac{\sin\alpha_1 \cos\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}} \quad (9)$$

三、

因 μ 子在相对自身静止的惯性系中的平均寿命

$$\tau_0 \approx 2.0 \times 10^{-6} \text{ s}$$

根据时间膨胀效应, 在地球上观测到的 μ 子平均寿命为 τ ,

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \quad (1)$$

代入数据得

$$\tau = 1.4 \times 10^{-5} \text{ s} \quad (2)$$

相对地面, 若 μ 子到达地面所需时间为 t , 则在 t 时刻剩余的 μ 子数为

$$N(t) = N(0)e^{-t/\tau} \quad (3)$$

根据题意有

$$\frac{N(t)}{N(0)} = e^{-t/\tau} = 5\% \quad (4)$$

对上式等号两边取 e 为底的对数得

$$t = -\tau \ln \frac{5}{100} \quad (5)$$

代入数据得

$$t = 4.19 \times 10^{-5} \text{ s} \quad (6)$$

根据题意, 可以把 μ 子的运动看作匀速直线运动, 有

$$h = vt \quad (7)$$

代入数据得

$$h = 1.24 \times 10^4 \text{ m} \quad (8)$$

四、

1. 考虑到使三个点光源的三束光分别通过三个透镜都成实像于 P 点的要求, 组合透镜所在的平面应垂直于 z 轴, 三个光心 O_1, O_2, O_3 的连线平行于三个光源的连线, O_2 位于 z 轴上, 如图 1 所示. 图中 MM' 表示组合透镜的平面, S_1', S_2', S_3' 为三个光束中心光线与该平面的交点. $S_2'O_2 = u$ 就是物距. 根据透镜成像公式

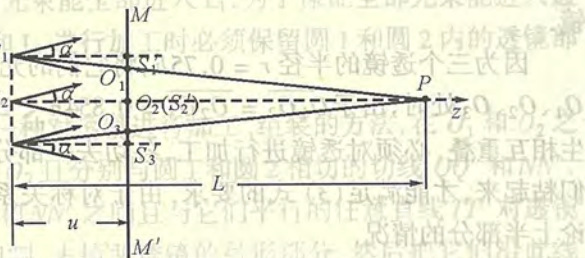


图 1

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{L-u} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

可解得

$$u = \frac{1}{2}(L \pm \sqrt{L^2 - 4fL})$$

因为要保证经透镜折射后的光线都能全部会聚于 P 点, 来自各光源的光线在投射到透镜之前不能交叉, 必须有 $2u \tan\alpha \leq h$ 即 $u \leq 2h$. 在上式中取“-”号, 代入 f 和 L 的值, 算得

$$u = (6 - 3\sqrt{2})h \approx 1.757h \quad (2)$$

此解满足上面的条件.

分别作三个点光源与 P 点的连线. 为使三个点光源都能同

x_1 达最大值(x_{1M}), x_2 达最小值(x_{2m}),

代入 r, ρ 和 $\overline{S_1'O_1}$ 的值, 得

$$x_{1M} = r + \overline{S_1'O_1} - \rho \quad (8)$$

代入(7)式, 得

$$x_{2m} = d - x_{1M} = 0.189h \quad (9)$$

由图2可看出, 沿 NN' 切割时, x_2 达最大值(x_{2M}), x_1 达最小值(x_{1m}),

$$x_{2M} = r - \rho > 0.282h$$

代入 r 和 ρ 的值, 得

$$x_{2M} = 0.311h \quad (10)$$

$$x_{1m} = d - x_{2M} = 0.335h \quad (11)$$

由对称性, 对 L_3 的加工与对 L_1 相同, 对 L_2 下半部的加工与对上半部的加工相同。

五、

1. 解法 I:

如图1所示, S 为原空腔内表面所在位置, q_1' 的位置应位于 $\overline{OP_1}$ 的延长线上的某点 B_1 处, q_2' 的位置应位于 $\overline{OP_2}$ 的延长线上的某点 B_2 处。设 A_1 为 S 面上的任意一点, 根据题意有



图1

$$k \frac{q_1}{A_1 P_1} + k \frac{q_1'}{A_1 B_1} = 0 \quad (1)$$

$$k \frac{q_2}{A_1 P_2} + k \frac{q_2'}{A_1 B_2} = 0 \quad (2)$$

怎样才能使(1)式成立呢? 下面分析图1中 $\triangle OP_1 A_1$ 与 $\triangle O A_1 B_1$ 的关系。

若等效电荷 q_1' 的位置 B_1 使下式成立, 即

$$\overline{OP_1} \cdot \overline{OB_1} = R^2 \quad (3)$$

$$\text{即 } \frac{\overline{OP_1}}{O A_1} = \frac{O A_1}{O B_1} \quad (4)$$

$$\text{则 } \triangle O P_1 A_1 \sim \triangle O A_1 B_1$$

$$\text{有 } \frac{A_1 P_1}{A_1 B_1} = \frac{\overline{OP_1}}{O A_1} = \frac{a}{R} \quad (5)$$

由(1)式和(5)式便可求得等效电荷 q_1'

$$q_1' = -\frac{R}{a} q_1 \quad (6)$$

由(3)式知, 等效电荷 q_1' 的位置 B_1 到原球壳中心位置 O 的距离

$$\overline{OB_1} = \frac{R^2}{a} \quad (7)$$

同理, B_2 的位置应使 $\triangle O P_2 A_1 \sim \triangle O A_1 B_2$, 用类似的方法可求得等效电荷

$$q_2' = -\frac{R}{a} q_2 \quad (8)$$

等效电荷 q_2' 的位置 B_2 到原球壳中心 O 位置的距离

$$\overline{OB_2} = \frac{R^2}{a} \quad (9)$$

解法 II:

在图1中, 设 $\overline{A_1 P_1} = r_1$, $\overline{A_1 B_1} = r_1'$, $\overline{OB_1} = d$ 。根据题意, q_1

和 q_1' 两者在 A_1 点产生的电势和为零. 有

$$k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_1'}{r_1'} = 0 \quad (1')$$

式中

$$r_1 = (R^2 + a^2 - 2Ra \cos \theta)^{1/2} \quad (2')$$

$$r_1' = (R^2 + d^2 - 2Rd \cos \theta)^{1/2} \quad (3')$$

由(1')、(2')、(3')式得

$$q_1^2 (R^2 + d^2 - 2Rd \cos \theta) = q_1'^2 (R^2 + a^2 - 2Ra \cos \theta) \quad (4')$$

(4') 式是以 $\cos \theta$ 为变量的一次多项式, 要使(4') 式对任意 θ 均成立, 等号两边的相应系数应相等, 即

$$q_1^2 (R^2 + d^2) = q_1'^2 (R^2 + a^2) \quad (5')$$

$$q_1^2 d = q_1'^2 a \quad (6')$$

由(5')、(6')式得

$$ad^2 - (a^2 + R^2)d + aR^2 = 0 \quad (7')$$

解得

$$d = \frac{(a^2 + R^2) \pm (a^2 - R^2)}{2a} \quad (8')$$

由于等效电荷位于空腔外部, 由(8')式求得

$$d = \frac{R^2}{a} \quad (9')$$

由(6')、(9')式有

$$q_1'^2 = \frac{R^2}{a^2} q_1^2 \quad (10')$$

考虑到(1')式, 有

$$q_1' = -\frac{R}{a} q_1 \quad (11')$$

同理可求得

$$\overline{OB_2} = \frac{R^2}{a} \quad (12')$$

$$q_2' = -\frac{R}{a} q_2 \quad (13')$$

2. A 点的位置如图 2 所示. A 的电势由 q_1 、 q_1' 、 q_2 、 q_2' 共同产生, 即

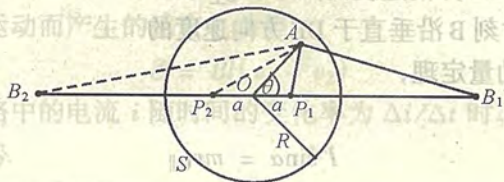


图 2

$$U_A = kq \left(\frac{1}{P_1 A} - \frac{R}{a} \frac{1}{B_1 A} + \frac{1}{P_2 A} - \frac{R}{a} \frac{1}{B_2 A} \right) \quad (10)$$

因

$$P_1 A = \sqrt{r^2 - 2ra \cos \theta + a^2}$$

$$B_1 A = \sqrt{r^2 - 2r \left(\frac{R^2}{a} \right) \cos \theta + \left(\frac{R^2}{a} \right)^2}$$

$$P_2 A = \sqrt{r^2 + 2ra \cos \theta + a^2}$$

$$B_2 A = \sqrt{r^2 + 2r \left(\frac{R^2}{a} \right) \cos \theta + \left(\frac{R^2}{a} \right)^2}$$

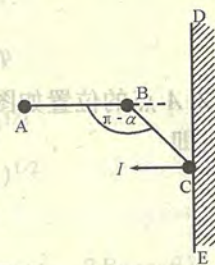
代入(10)式得

$$U_A = kq \left(\frac{1}{\sqrt{r^2 - 2ra \cos \theta + a^2}} - \frac{R}{\sqrt{a^2 r^2 - 2raR^2 \cos \theta + R^4}} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + 2ra \cos \theta + a^2}} - \frac{R}{\sqrt{a^2 r^2 + 2raR^2 \cos \theta + R^4}} \right) \quad (11)$$

六、令 I 表示题述极短时间 Δt 内挡板对 C 冲量的大小, 因为挡

板对 C 无摩擦力作用,可知冲量的方向垂直于 DE,如图所示; I' 表示 B、C 间的杆对 B 或 C 冲量的大小,其方向沿杆方向,对 B 和 C 皆为推力;

$v_{C\parallel}$ 表示 Δt 末了时刻 C 沿平行于 DE 方向速度的大小, $v_{B\parallel}$ 表示 Δt 末了时刻 B 沿平行于 DE 方向速度的大小, $v_{B\perp}$ 表示 Δt 末了时刻 B 沿垂直于 DE 方向速度的大小. 由动量定理,



对 C 有

$$I' \sin \alpha = mv_{C\parallel} \quad (1)$$

$$I - I' \cos \alpha = mv \quad (2)$$

对 B 有

$$I' \sin \alpha = mv_{B\parallel} \quad (3)$$

对 AB 有

$$I' \cos \alpha = 2m(v - v_{B\perp}) \quad (4)$$

因为 B、C 之间的杆不能伸、缩,因此 B、C 沿杆的方向的分速度必相等. 故有

$$v_{C\parallel} \sin \alpha = v_{B\perp} \cos \alpha - v_{B\parallel} \sin \alpha \quad (5)$$

由以上五式,可解得

$$I = \frac{3 + \sin^2 \alpha}{1 + 3 \sin^2 \alpha} mv \quad (6)$$

七、

解法 I:

当金属杆 ab 获得沿 x 轴正方向的初速 v_0 时,因切割磁感线而产生感应电动势,由两金属杆与导轨构成的回路中会出现感应电流. 由于回路具有自感系数,感应电流的出现,又会在回路中产生自感电动势,自感电动势将阻碍电流的增大,所以,虽然

回路的电阻为零,但回路的电流并不会趋向无限大. 当回路中一旦有了电流,磁场作用于杆 ab 的安培力将使 ab 杆减速,作用于 cd 杆的安培力使 cd 杆运动.

设在任意时刻 t , ab 杆和 cd 杆的速度分别为 v_1 和 v_2 (相对地面参考系 S), 当 v_1, v_2 为正时,表示速度沿 x 轴正方向;若规定逆时针方向为回路中电流和电动势的正方向,则因两杆作切割磁感线的运动而产生的感应电动势

$$\mathcal{E} = Bl(v_1 - v_2) \quad (1)$$

当回路中的电流 i 随时间的变化率为 $\Delta i / \Delta t$ 时,回路中的自感电动势

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (2)$$

根据欧姆定律,注意到回路没有电阻,有

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_L = 0 \quad (3)$$

金属杆在导轨上运动过程中,两杆构成的系统受到的水平方向的合外力为零,系统的质心做匀速直线运动. 设系统质心的速度为 V_C ,有

$$mv_0 = 2mV_C \quad (4)$$

得

$$V_C = \frac{v_0}{2} \quad (5)$$

V_C 方向与 v_0 相同,沿 x 轴的正方向.

现取一新的参考系 S' , 它与质心固连在一起,并把质心作为坐标原点 O' , 取坐标轴 $O'x'$ 与 x 轴平行. 设相对 S' 系,金属杆 ab 的速度为 u , cd 杆的速度为 u' ,则有

$$v_1 = V_C + u \quad (6)$$

$$v_2 = V_C + u' \quad (7)$$

因相对 S' 系, 两杆的总动量为零, 即有 $mu + mu' = 0$ (8)

由(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)、(8)各式, 得

$$2Blu = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (9)$$

在 S' 系中, 在 t 时刻, 金属杆 ab 坐标为 x' , 在 $t + \Delta t$ 时刻, 它的坐标为 $x' + \Delta x'$, 则由速度的定义

$$u = \frac{\Delta x'}{\Delta t} \quad (10)$$

代入(9)式得

$$2Bl\Delta x' = L\Delta i \quad (11)$$

若将 x' 视为 i 的函数, 由(11)式知 $\Delta x'/\Delta i$ 为常量, 所以 x' 与 i 的关系可用一直线方程表示

$$x' = \frac{L}{2Bl}i + b \quad (12)$$

式中 b 为常数, 其值待定. 现已知在 $t = 0$ 时刻, 金属杆 ab 在 S' 系中的坐标 $x' = \frac{1}{2}x_0$, 这时 $i = 0$, 故得

$$x' = \frac{L}{2Bl}i + \frac{1}{2}x_0 \quad (13)$$

或

$$i = \frac{2Bl}{L}\left(x' - \frac{1}{2}x_0\right) \quad (14)$$

$\frac{1}{2}x_0$ 表示 $t = 0$ 时刻金属杆 ab 的位置, x' 表示在任意时刻 t , 杆 ab 的位置, 故 $\left(x' - \frac{1}{2}x_0\right)$ 就是杆 ab 在 t 时刻相对初始位置的位移, 用 X 表示,

$$X = x' - \frac{1}{2}x_0 \quad (15)$$

当 $X > 0$ 时, ab 杆位于其初始位置的右侧; 当 $X < 0$ 时, ab 杆位于其初始位置的左侧. 代入(14)式, 得

$$i = \frac{2Bl}{L}X \quad (16)$$

这时作用于 ab 杆的安培力

$$F = -iBl = -\frac{2B^2l^2}{L}X \quad (17)$$

ab 杆在初始位置右侧时, 安培力的方向指向左侧; ab 杆在初始位置左侧时, 安培力的方向指向右侧, 可知该安培力具有弹性力的性质. 金属杆 ab 的运动是简谐振动, 振动的周期

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2B^2l^2/L}} \quad (18)$$

在任意时刻 t , ab 杆离开其初始位置的位移

$$X = A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (19)$$

A 为简谐振动的振幅, φ 为初相位, 都是待定的常量. 通过参考圆可求得 ab 杆的振动速度

$$u = -A\left(\frac{2\pi}{T}\right)\sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (20)$$

(19)、(20) 式分别表示任意时刻 ab 杆离开初始位置的位移和运动速度. 现已知在 $t = 0$ 时刻, ab 杆位于初始位置, 即

$$X = 0 \quad (21)$$

速度 u 视为 i 的函数, 由(6)式可知

$$u = v_0 - V_C = v_0 - \frac{1}{2}v_0 = \frac{1}{2}v_0$$

故有

$$0 = A\cos\varphi$$

$$\frac{v_0}{2} = -A\left(\frac{2\pi}{T}\right)\sin\varphi$$

解这两式, 并注意到(18)式得

$$\varphi = \frac{3\pi}{2} \quad (21)$$

$$A = \frac{v_0}{4\pi} T = \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \quad (22)$$

由此得 ab 杆的位移

$$X = \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{3\pi}{2}\right) = \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin \frac{2\pi}{T}t \quad (23)$$

由(15)式可求得 ab 杆在 S' 系中的位置

$$x_{ab}' = \frac{1}{2}x_0 + \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin \frac{2\pi}{T}t \quad (24)$$

因相对质心,任意时刻 ab 杆和 cd 杆都在质心两侧,到质心的距离相等,故在 S' 系中,cd 杆的位置

$$x_{cd}' = -\frac{1}{2}x_0 - \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin \frac{2\pi}{T}t \quad (25)$$

相对地面参考系 S,质心以 $V_C = \frac{1}{2}v_0$ 的速度向右运动,并注意到(18)式,得 ab 杆在地面参考系中的位置

$$x_{ab} = x_0 + \frac{1}{2}v_0t + \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}}\right)t \quad (26)$$

cd 杆在 S 系中的位置

$$x_{cd} = \frac{1}{2}v_0t - \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}}\right)t \quad (27)$$

回路中的电流由(16)式得

$$i = \frac{2Bl}{L} \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin \frac{2\pi}{T}t = v_0 \sqrt{\frac{m}{2L}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}}\right)t \quad (28)$$

解法 II:

当金属杆在磁场中运动时,因切割磁感线而产生感应电动势,回路中出现电流时,两金属杆都要受到安培力的作用,安培力使 ab 杆的速度改变,使 cd 杆运动.设任意时刻 t ,两杆的速度分别为 v_1 和 v_2 (相对地面参考系 S),若规定逆时针方向为回路电动势和电流的正方向,则由两金属杆与导轨构成的回路中,因

杆在磁场中运动而出现的感应电动势为

$$\mathcal{E} = Bl(v_1 - v_2) \quad (1')$$

令 u 表示 ab 杆相对于 cd 杆的速度,有

$$\mathcal{E} = Blu \quad (2')$$

当回路中的电流 i 变化时,回路中有自感电动势 \mathcal{E}_L ,其大小与电流的变化率成正比,即有

$$\mathcal{E}_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (3')$$

根据欧姆定律,注意到回路没有电阻,有

$$\mathcal{E} + \mathcal{E}_L = 0$$

由式(2')、(3')两式得

$$Blu = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (4')$$

设在 t 时刻,金属杆 ab 相对于 cd 杆的距离为 x' ,在 $t + \Delta t$ 时刻,ab 相对于 cd 杆的距离为 $x' + \Delta x'$,则由速度的定义,有

$$u = \frac{\Delta x'}{\Delta t} \quad (5')$$

代入(4')式得

$$Bl\Delta x' = L\Delta i \quad (6')$$

若将 x' 视为 i 的函数,由(6')式可知, $\Delta x' / \Delta i$ 为常量,所以 x' 与 i 的关系可以用一直线方程表示,即

$$x' = \frac{L}{Bl}i + b \quad (7')$$

式中 b 为常数,其值待定.现已知在 $t = 0$ 时刻,金属杆 ab 相对于 cd 杆的距离为 x_0 ,这时 $i = 0$,故得

$$x' = \frac{L}{Bl}i + x_0 \quad (8')$$

或

$$i = \frac{Bl}{L}(x' - x_0) \quad (9')$$

x_0 表示 $t = 0$ 时刻金属杆 ab 相对于 cd 杆的位置, x' 表示在任意时刻 t 时 ab 杆相对于 cd 杆的位置, 故 $(x' - x_0)$ 就是杆 ab 在 t 时刻相对于 cd 杆的相对位置相对于它们在 $t = 0$ 时刻的相对位置的位移, 即从 $t = 0$ 到 $t = t$ 时间内 ab 杆相对于 cd 杆的位移

$$X = x' - x_0 \quad (10')$$

于是有

$$i = \frac{Bl}{L} X \quad (11')$$

任意时刻 t , ab 杆和 cd 杆因受安培力作用而分别有加速度 a_{ab} 和 a_{cd} , 由牛顿定律有

$$-iBl = ma_{ab} \quad (12')$$

$$iBl = ma_{cd} \quad (13')$$

两式相减并注意 (11') 式得

$$m(a_{ab} - a_{cd}) = -2iBl = -\frac{2B^2 l^2}{L} X \quad (14')$$

式中 $(a_{ab} - a_{cd})$ 为金属杆 ab 相对于 cd 杆的加速度, 而 X 是 ab 杆相对 cd 杆相对位置的位移, $\frac{2B^2 l^2}{L}$ 是常数, 表明这个相对运动是简谐振动, 它的振动的周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2B^2 l^2 / L}} \quad (15')$$

在任意时刻 t , ab 杆相对 cd 杆相对位置相对它们初始位置的位移

$$X = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (16')$$

A 为简谐振动的振幅, φ 为初相位, 都是待定的常量. 通过参考圆可求得 X 随时间的变化率即速度

$$V = A \left(\frac{2\pi}{T}\right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (17')$$

现已知在 $t = 0$ 时刻, 杆位于初始位置, 即 $X = 0$, 速度 $V = v_0$ 故有

$$0 = A \cos\varphi$$

$$v_0 = -A \left(\frac{2\pi}{T}\right) \sin\varphi$$

解这两式, 并注意到 (15') 式得

$$\varphi = \frac{3\pi}{2}$$

$$A = \frac{v_0}{2\pi} T = \frac{v_0}{Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}}$$

由此得

$$X = \frac{v_0}{Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{3\pi}{2}\right) = \frac{v_0}{Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl \sqrt{\frac{2}{mL}} t\right) \quad (18')$$

因 $t = 0$ 时刻, cd 杆位于 $x = 0$ 处, ab 杆位于 $x = x_0$ 处, 两者的相对位置由 x_0 表示; 设 t 时刻, cd 杆位于 $x = x_{cd}$ 处, ab 杆位于 $x = x_{ab}$ 处, 两者的相对位置由 $x_{ab} - x_{cd}$ 表示, 故两杆的相对位置的位移又可表示为

$$X = x_{ab} - x_{cd} - x_0 \quad (19')$$

所以

$$x_{ab} - x_{cd} = x_0 + \frac{v_0}{Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl \sqrt{\frac{2}{mL}} t\right) \quad (20')$$

(12') 和 (13') 式相加

$$m(a_{ab} + a_{cd}) = -iBl + iBl = 0$$

得

$$(a_{ab} + a_{cd}) = 0$$

由此可知, 两杆速度之和为一常量即 v_0 , 所以两杆的位置 x_{ab} 和

x_{cd} 之和应为

$$x_{ab} + x_{cd} = x_0 + v_0 t \quad (21')$$

由(20')和(21')式相加和相减,注意到(15')式,得

$$x_{ab} = x_0 + \frac{1}{2} v_0 t + \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}} t\right) \quad (22')$$

$$x_{cd} = \frac{1}{2} v_0 t - \frac{v_0}{2Bl} \sqrt{\frac{mL}{2}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}} t\right) \quad (23')$$

由(11')、(19')、(22')、(23')式得回路中电流

$$i = v_0 \sqrt{\frac{m}{2L}} \sin\left(Bl\sqrt{\frac{2}{mL}} t\right) \quad (24')$$

各省、自治区、直辖市复赛

实验试题及部分解答

北京市

一、电学实验题

1. 测量电阻的温度系数(0°C ~ 100°C).

2. 用该电阻组成一数字温度计,要求0°C时的读数为0 V.

[仪器用具] 0 ~ 10 V 可调稳压电源1台,电阻箱3个,数字万用表2块,数字温度计1个,待测电阻1个,电热杯1个,加冰的保温杯1个,单刀开关1个,导线若干根。(根据需要选用)

[要求] 画出实验的线路图,列出测量的原始数据、数据处理方法和实验结果.

[注意事项]

1. 测量电路中数字万用表只能用直流电流和电压档. 电压档的输入阻抗为10 MΩ,电流档的内阻为10 ~ 100 Ω.

2. 测量前要选择正确的电源电压值、电阻箱的阻值和电表的量程.

3. 接通电源前要请监考教师检查电路的安全性,只要该电路不会损坏实验仪器即可通过,其他由学生自己负责.

4. 待测电阻的允许电流为3 mA.

5. 电阻箱的允许电流:

0.1 Ω 档 1.5 A

1 Ω 档 0.5 A

10 Ω 档 0.16 A

100 Ω 档 50 mA

1 000 Ω 档 16 mA

10 000 Ω 档 5 mA

二、光学实验题

[题目] 现用曲率半径相等的两个玻璃折射球面,制成物方焦距和像方焦距相等的一个对称薄凸透镜.用实验室提供的光源、物、观察屏、有米尺刻度的导轨和刻上标记的滑块等物件,将物分别固定在距离该透镜光心的 20.00 厘米和 40.00 厘米处.请测量该透镜的横向放大率,并分别指出所见到的像的 3 种主要光学特征.

[要求]

1. 给出该透镜的横向放大率公式.
2. 画出你用来测量该透镜的横向放大率的光路图.
3. 写出你用来测量该透镜的横向放大率的主要步骤.
4. 给出你测量的原始数据.
5. 计算并给出横向放大率.
6. 回答题中问题.

上海市

一、测量透镜的折射率

[仪器用具] 磨砂白炽灯 1 只,用同种材料制成的双凸、双凹薄透镜各 1 只,物屏 1 只,像屏 1 只,导轨和导轨滑块(所有的导轨滑块几何尺寸相同),透镜固定支架 2 个,剪刀 1 把,细丝 1 根,白纸 1 张,粘胶带 1 卷.

[要求]

1. 已知在近轴光线条件下,透镜的焦距 f 、透镜的球体半径

R_1 、 R_2 和材料的折射率 n 有如下关系

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

式中,对双凸透镜时 R_1 、 R_2 取正号,双凹透镜时取负号.

2. 利用所给设备,自行设计实验方案,画出光路图,写出实验步骤和计算公式.

3. 计算结果的有效数字不低于 3 位.

二、电学实验题

[仪器用具]

1. 插件板 1 块、连线若干.
2. 插件:测试用变压器 1 只(L_1 为初级, L_2 为次级,盒上标记分别为 N_1 、 N_2),电容 3 只 ($C_1 = 100 \text{ pF}$ 、 $C_2 = 4.700 \text{ pF}$ 、 $C_3 = 0.47 \text{ }\mu\text{F}$), ZX - 21 电阻箱 1 只.
3. 功率输出信号发生器 1 台、双踪读数示波器 1 台.

(一) 确定在某一频率 f_w 下变压器输出功率最大时的负载电阻阻值 R_p .

[要求]

1. 根据现有设备设计测量 R_p 的线路,画出线路图,取 f_w 为 15 kHz 左右.负载电阻的测量误差不大于 50 Ω .(提示:负载电阻不大于 1 k Ω .)

2. 要求整个测量过程记录在答题纸上.

(二) 研究变压器的输出电压与频率的关系.

[要求]

1. 设计测量线路图.画出输出电压随输入信号频率变化趋势的示意图.在变化平缓的区间内,适当地取几个电压值,以其平均值为参考,确定输出电压变化不大于 15% 时所对应的工作

频率范围。

(提示:图要简单,只需标出关键点的频率值和电压值;测量范围:50 Hz ~ 200 kHz;不加负载电阻。)

2. 根据本测量电路图,所画的示意图中峰值最高处是谐振点,它与次级接入的测量设备有关。请用实验验证该峰是串联谐振还是并联谐振。

(三) 测量变压器的互感 M 。

[要求] 在距离该透镜光心的 20.00 厘米处,将物分

1. 两个电感 L_1 、 L_2 的磁通相互连通时会产生互感 M , 这时总电感 L 的表达式为

$$L_{\pm} = L_1 + L_2 \pm 2M$$

2. 请用现有的设备设计最佳测量方案,画出线路图并测量。

3. 说出你设计这个测量方案的理由。

[说明]

1. 实验电路板为插孔式,每 9 孔为一节点(内部连接在一起),相邻节点不连通。元件与其接插时,必须垂直。



2. 仪器说明:(读数示波器有 10 分钟的提前培训,同时提供简要使用说明书)

(1) 若在实验过程中,遇到对示波器使用有困难时,请见使用说明书。

(2) 信号发生器使用“电压输出”口,输出电压可由信号发生器的电压表指示,输出电压不得大于 5 V_{pp}。

(3) 信号发生器与示波器的地线是相互连通的。

· 参考解答 ·

二、

(一) 见附图, R_L 为电阻箱,其上的电压峰峰值由读数示波器测量,其功率为

$$P = \frac{V_{pp}^2}{8R_L}$$

若用其他方法测量交流电阻,根据现有设备条件,很难把电感的直流电阻测准。具体计算时不必考虑系数 8。由题知, $R_L \leq 1 \text{ k}\Omega$ 。为了快速确定最佳 R_L ,应采用分步逼近法。



(二)

1. 见附图。给定输入信号的电压值。



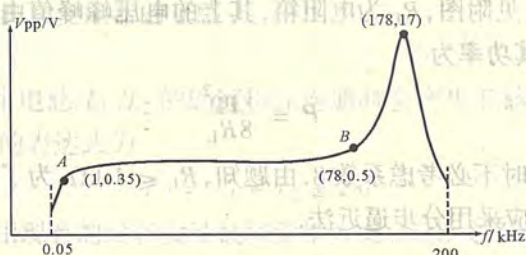
(1) 为了了解曲线的形状,先在整个频率范围内快速的连续扫描一遍,大致可确定输出电压变化较平缓的频率范围在

5 kHz ~ 40 kHz 之间. 所以可在这个区域内取 3 ~ 5 个点, 求得一个电压参考值. 取其 $\pm 15\%$ 作为电压的上下限.

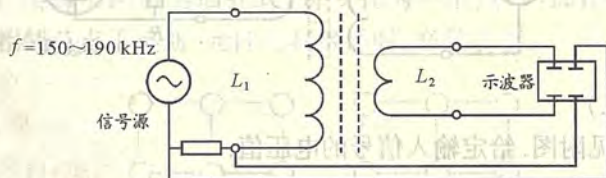
(2) 再次调节信号频率, 可以找到对应的频率点, 从而确定工作频率范围.

(3) 可在近 200 kHz 附近扫到一个峰.

图形可参考下图.



2. 题中已指出峰是谐振峰, 与次级接入的测量设备有关, 所以次级的接线不动.



(1) 信号源处串接一个电阻, 测量其上的压降.

(2) 改变信号源频率, 在谐振频率附近扫描, 观测电阻上电压与频率的关系. 上凸是串联谐振, 下凹是并联谐振.

(3) 发现示波器上的信号同大同小, 当次级电压最大时, 电阻上的压降也达到峰值, 所以是串联谐振.

(三) 由题给出的公式, 令互感 M 为零, 可知总电感是两个电感相加, 也就是感抗相加, 可推知应是电感串联.

副边. 当互感 M 不为零时, 考虑到磁

通方向, 可相加, 可抵消. 两种串接方向将导致总电感有两个值. 所以可以消去 L_1 、 L_2 .



实验器材中有 3 个电容, 所以

当用串联谐振法时, 应考虑谐振频率应落在在工作频率范围之内. 依次换上 C_1 、 C_2 、 C_3 , 发现只有 C_2 对应的两个谐振频率都落在在工作频率范围之内, 所以确定应选 C_2 .

若用其他方法时要考虑电感的直流电阻, 根据现有设备条件, 很难把电感的直流电阻精确测出.

所以最好的方案是用串联谐振法测量 L_+ 、 L_- .

天津市

一、测量电源内阻

[仪器用具] 甲电池(电动势约为 1.5 V) 2 个, ZX36 型电阻箱(四钮) 2 个, ZX21 型电阻箱(六钮) 1 个, AC5/2 型直流指针式检流计 1 个, 滑线变阻器 1 个(用作检流计限流保护), 待测电源(电动势约为 1.5 V), 开关 2 个, 导线若干.

[要求]

1. 画出实验电路图.

2. 写出主要的实验步骤, 计算公式, 元件参数值并求出测量结果.

[附录] AC5/2 型直流指针式检流计使用说明

1. 将指针锁钮拨向白点, 露出红点, 表示指针可以转动, 然后用零位调节器调整零点.

2. 按下“电计”按钮, 检流计即与外电路接通(要用“跃接

法”连接),若需较长时间接通检流计,可按下“电计”按钮,并顺时针旋转一角度即可锁住.断电后,按“短路”按钮,可使指针很快停止摆动.

3. 使用完毕,应使“电计”按钮断开,并将指针锁钮拨向红点,露出白点.

4. 检流计用作平衡电路的示零器,不得用作电流表读数.

二、测量平板玻璃的折射率

[仪器用具] JCD₃型移测显微镜,待测平板玻璃(上下表面印有标记),螺旋测微器,手灯.

[要求]

1. 简述测量原理,导出测量公式.
2. 写出主要实验步骤.
3. 记录测量数据,并给出测量结果(需经多次测量).
4. 分析测量误差的来源.

重庆市

一、估测室温下水的表面张力系数

[仪器用具] 天平,比重瓶,游标卡尺,螺旋测微器,金属丝若干,烧杯,足量的水,有关液体性质的数据表,坐标纸,温度计.

[要求] 写出实验原理、实验步骤,测出数据并计算出结果.

二、有六个接头 1、2、3、4、5、6 的黑盒子,里面装有电阻、二极管、电容及电感各 1 个,任意相邻两接线柱之间只有 1 个元件或导线或断路.画出其内部电路图;利用黑盒内元件,同时在示波器上显示晶体二极管的正向、反向伏安特性曲线,并简要解释示波器荧屏上能显示伏安特性曲线的原因.

[仪器用具] 双踪示波器 1 台,低频信号发生器 1 台,低压电源 1 个,万用电表 1 只,导线若干,被测黑盒 1 个.

三、运用给定仪器测定待测电源的电动势和内电阻

[仪器用具] 干电池 1 节(1.5 V 左右),待测电源,检流计(直流检流计) AC5 型,电阻箱 4 个(其中 1 个负载,1 个作电流调节,2 个作微调,并联阻值在 1 Ω 以下),直流电流表(0 ~ 150 mA),稳压电源,单刀双掷开关,导线若干.

[要求]

1. 简要说明实验原理(应有必要的公式推导过程).
2. 主要的测试步骤.
3. 测量的原始记录及数据处理.

四、测量钠光在液体中的传播速度

[仪器用具] 读数显微镜 1 台,分束片及其支架 1 套,钠光灯 1 台,平板玻璃 2 块,待测液体,细金属丝 2 根,注射器 1 个.

[要求] 应用所给器件测量钠黄光在待测液体中的传播速度.

1. 简要说明测量的方法及基本原理(应有必要的公式推导过程).
2. 主要的测试步骤.
3. 测量的原始记录及数据处理.

· 参考解答 ·

一、

原理与步骤: 1. 用比重瓶测量待测金属丝的密度

测出装满水并加盖的比重瓶的质量 m_1 ; 测出适量金属丝的质量 m_x , 将其放入装满水的比重瓶中, 加盖后擦干瓶外表上的水; 测出三者总质量为 m_2 . 则

$$\rho_x V_x - \rho_w V_x = m_2 - m_1 \quad m_x = \rho_x V_x$$

故有金属丝的密度

$$\rho_x = \frac{m_x}{m_x + m_1 - m_2} \rho_w$$

其中 m_x, V_x 表示金属丝的质量和体积.

2. 估测室温下水的表面张力系数

使金属丝浮在水面上, 此时浮力(比重力小得多)、表面张力与其重力平衡:

$$2f \cos \alpha + F_{\text{浮}} = mg$$

测出金属丝的直径 d , 则

$$f = \delta L$$

$$m = \rho \times \frac{1}{4} \pi d^2 L$$

估测水的表面张力系数

$$\delta \approx \frac{1}{8} \pi \rho g d^2$$

当 $\alpha = 0^\circ$ 时的实验数据: 0.059 N/m .

四、

题目要求测量光线在液体中的传播速度, 从有关知识可知光在介质中的传播速度 u 与介质对光的折射率 n 有关, 即 $u = c/n$; 此实验实质是测液体对光的折射率 n .

用 2 块平板玻璃、2 根细金属线可组成一个简单的空气劈尖, 若在此劈尖内注入待测液体则构成一个液体劈尖. 将读数

显微镜、分束片及其支架、光源、劈尖按图 1 所示组合.

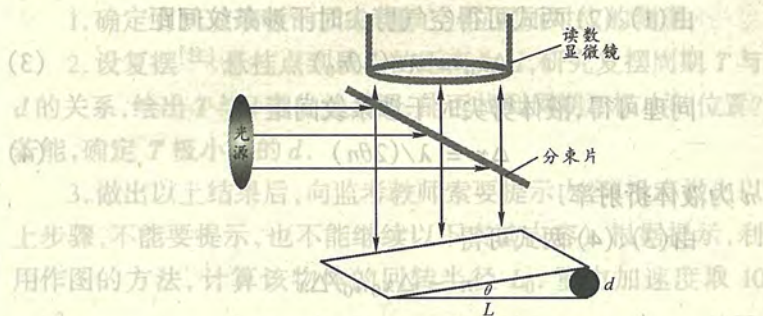


图 1

单色光线经分束片反射后垂直向下照射在劈尖上, 光在劈尖上的上、下两个表面分别产生反射, 形成两束相干光, 此两束光产生干涉, 会形成等间距、明暗相间的平行于棱边的等厚干涉条纹(如图 2).

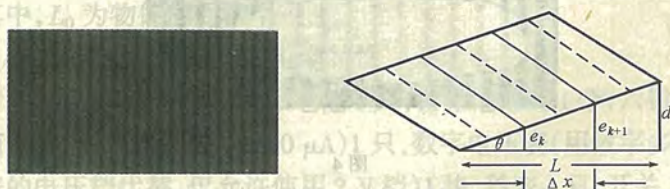


图 2

图 3

干涉条纹间距 Δx 可用读数显微镜测出.

由图 3 可得, 空气劈尖时相邻条纹的高度差

$$\Delta e_0 = \lambda / 2n_0 \quad (1)$$

λ 为光的波长, n_0 为空气折射率.

劈尖顶角

$$\theta \approx \tan \theta = \Delta e_0 / \Delta x_0 \quad (2)$$

Δx_0 是空气劈尖时干涉条纹间距。

由(1)、(2)两式可得空气劈尖时干涉条纹间距

$$\Delta x_0 = \lambda / (2\theta n_0) \quad (3)$$

同理可得,液体劈尖时干涉条纹间距

$$\Delta x = \lambda / (2\theta n) \quad (4)$$

n 为液体折射率。

由(3)、(4)两式可得

$$n = \Delta x_0 n_0 / \Delta x$$

所以

$$u = c/n = c\Delta x / (n_0 \Delta x_0)$$

具体测量条纹间距时,有以下两种方法可供选择:

1. 先测出空气劈尖时条纹间距 Δx_0 , 然后在劈尖中注液体后测出条纹间距 Δx .

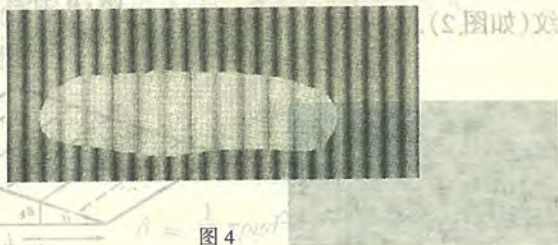


图4

2. 在劈尖中注入液体时不必注满,有意留下气泡,能同时得到如图4所示两种不同间距的干涉条纹可供测量。

河北省

一、测量给定物体的回转半径

[仪器用具] 有机玻璃板1块,小球1个,细线1根,卷尺1把,卡尺1把,支架台1个,坐标纸1张。

[要求]

1. 确定有机玻璃板的质心(重心)位置所对应的刻度。
2. 设复摆^[注]悬挂点到质心的距离为 d , 研究复摆周期 T 与 d 的关系, 绘出 T 与 d 变化关系图。能否找到周期 T 极小的位置? 若能, 确定 T 极小时的 d 。

3. 做出以上结果后, 向监考教师索要提示内容(没有做出以上步骤, 不能要提示, 也不能继续以下实验内容)。根据提示, 利用作图的方法, 计算该物体的回转半径 L_0 。重力加速度取 10 m/s^2 。

[注] 当一个形状不可变化的物体(刚体)做小角度摆动时, 构成复摆。

[提示内容] 复摆的周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L_0^2 + d^2}{gd}}$$

其中, L_0 为物体的回转半径。

二、测量给定电池的电学特性

[仪器用具] 待测钮扣电池1只, 钮扣电池夹1个, 六钮电阻箱1只, 微安表头(0 ~ 500 μA)1只, 数字电压表(用数字多用表的电压档代替, 仅允许使用2V档)1块, 秒表1只, 开关1个, 1号干电池1节, 电阻丝1段, 直尺1把, 导线若干, 坐标纸1张。

[要求]

1. 测量钮扣电池的短路放电曲线。为此应将表头改装成满足需要的电流表。表头内阻自行测量, 放电曲线数据不得少于15组。
2. 计算该钮扣电池的容量(单位: 毫安时 $\text{mA} \cdot \text{h}$)。
3. 测量该钮扣电池的内阻与短路放电电流的关系。

△：[说明]待测钮扣电池的短路电流不大于 200 mA，待测钮扣电池的短路放电时间不大于 10 min。

· 参考解答 ·

一、
实验原理：
单摆周期公式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

复摆周期公式

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}} \quad (2)$$

其中， d 是支点(转动轴)到质心的距离， I 是绕转动轴的转动惯量。根据平行轴定理， $I = I_0 + md^2$ (I_0 是过质心轴的转动惯量)，有

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_0 + md^2}{mgd}}$$

令过质心轴的转动惯量为 $I_0 = mL_0^2$ ，其中 L_0 称之为回转半径，得到

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L_0^2 + d^2}{gd}} \quad (2)$$

由(2)式可以推出，当 $d = L_0$ 时， T 取极小值。

通过测量复摆周期 T 与 d 的关系，确定 L_0 ，可将(2)式变化形式，得到直线关系

$$\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 gd = L_0^2 + d^2 \quad (3)$$

这样，通过绘制 $\left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 gd - d^2$ 的图线(直线)关系，找到纵轴截距

即为 L_0^2 。

二、
1. 电流表改装

(1) 测表头内阻：测量电路如图 1 所示，根据测量结果计算微安表内阻。

(2) 根据测量需要，应把微安表改装为 200 mA 和另一个较小的合适量程(例如 50 mA)。由公式

$$R_s = \frac{R_g}{\frac{I}{I_g} - 1}$$

计算 200 mA 和 50 mA 量程电流表的分流电阻： R_{S1} 、 R_{S2} 。

(3) 用给定电阻丝作分流电阻，其阻值的测量方法如下：

按照上述电路测量电阻丝的电阻，用直尺测量两测量端之间的长度，可得单位长度的电阻值，据此可得 R_{S1} 、 R_{S2} 。若所用电阻丝的长度小于接线柱之间的距离，可用双股解决。

本实验中，不要求对改装电表进行校准。

2. 测量并记录给定钮扣电池的短路放电过程的相关数据

(1) 测量电路图(图 3)。

(2) 测量并记录数据。

按照图 3 接好电路，在开关闭合的同时记录数据。

操作说明：

① 所记录的数据应不少于 15 组。

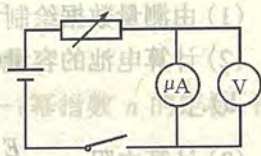


图 1

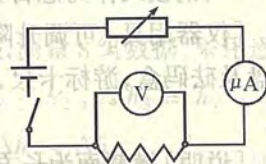


图 2



图 3

②在短路放电电流至50mA时,将电流表的量程换为50 mA.

③断开电路测量电池电动势和换量程时,秒表应该暂停.

④放电电流小于1 mA时即可认为放电完毕.

3. 处理数据,表达结果.

(1)由测量数据绘制 $I_D - t$ 曲线.

(2)计算电池的容量(曲线下所围面积,单位: $A \cdot h$ 或 $mA \cdot h$).

(3)计算内阻 $r = \frac{E - U}{I}$; 绘制 $I_D - r$ 曲线.

山西省

一、钢板尺作为悬臂梁时弹性模量的测定

[仪器用具] 可调升降台,大砝码(作夹具用),钢板尺,砝码托盘及砝码盒,游标卡尺,螺旋测微计,读数显微镜,细悬线和光源.

[说明] 横截面为长方形(宽为 a , 厚为 D) 的均质金属材料, 其一端由升降台及大砝码构成的夹具固定, 组成一个悬臂梁. 在其自由端加以竖直力 F 时, 发生挠曲变形. 其自由端下垂距离应满足

$$h = \frac{8Fl^n}{aD^3E}$$

式中 l 为悬臂梁的长度, E 为所用材料(钢板尺)的弹性模量, E 的单位是 N/m^2 .

[要求]

1. 定出式中幂指数 n 的大小.



2. 采用不等精度测量方法,设计相关的实验方案,写出完整的实验步骤.

3. 选用合适的数据处理方法,计算出钢板尺的弹性模量 E , 给出误差.

[注]

(1)重力加速度取 $g = 9.80 m/s^2$.

(2)忽略细悬线对测量结果的影响.

(3)本题备有提示卡两张,提示一:幂指数 n 的定标;提示二:数据处理方法.(均扣去相应3分)

提示卡一:

$h = \frac{8Fl^n}{aD^3E}$ 单位为 N/m^2 , 由量纲相等, 可得 $n = 3$.

提示卡二:

每次若加砝码 $10 g = 10 \times 10^{-3} kg$, 测量8组数据, 采用逐差法处理, $\Delta h_1 = h_5 - h_1$, $\Delta h_2 = h_6 - h_2$, $\Delta h_3 = h_7 - h_3$, $\Delta h_4 = h_8 - h_4$, $\Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4}{4}$, 此时对应所加砝码为 $40 \times 10^{-3} kg$, $F = mg = 40 \times 10^{-3} \times 9.80 N$. (砝码托盘质量可作为零点读数时所加质量)

二、测电容器的电容

[仪器用具] 直流稳压电源, 标准电容器1个, 待测电容1个, 检流计1个, 滑线变阻器1个, $0 \sim 5 V$ 电压表1个, 单刀开关3个, 导线若干.

[要求]

1. 自己设计实验方案.

2. 画出实验的线路图.

提示3. 给出主要步骤.

4. 测出待测电容器的电容.

[注意]

1. 实验过程中, 如果遇到有困难, 可以向监考老师申请提示卡, 但相应部分的分值将被扣除. 提示卡必须按 1、2、3 的次序索要, 不能直接索要后面的提示卡.

提示卡一: 原理图(5分)

提示卡二: 完整电路图(2分)

提示卡三: 操作要点(4分)

2. 实验结束后, 经监考老师同意方可离开实验室.

提示卡一:

将电容串接如图 1, 只要测出 C 和 C_0 两端电压 u 和 u_0 , 按 $Cu = C_0u_0$ 即可求出 C 值. 但磁电式电压表不能直接测出 C 端电压, 故电路必须改成图 2 所示桥式电路.



图 1



图 2

提示卡二: 按图 3, 增加 C_0 、 C 放电电路, 才能准确找出 b 、 d 平衡点.

提示卡三:

若 d 、 b 不平衡, 则图 3 电路中

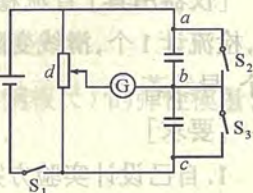
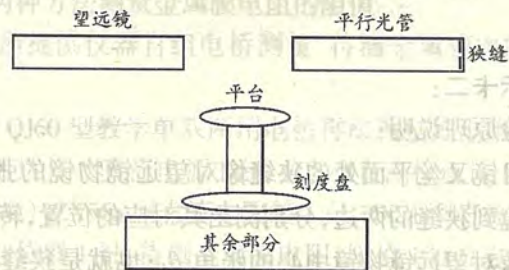


图 3

C_0 将充电或放电, 移动 d 的位置, 直接找出平衡点的位置. 因 C_0 已充电, d 改变量过小, 放电量过小, 检流计不容易观测到. 需断开开关 S_1 , 合上开关 S_2 和 S_3 , 将 C 和 C_0 所带的电放掉. 放电后断开 S_2 和 S_3 , 再合上 S_1 , 才能找到真正的平衡点.

三、测量分光计上平行光管处狭缝的宽度
[仪器用具] 光源, 分光计 1 台, 平面镜 1 个, 卷尺(或米尺) 1 把.



[要求]

1. 画出光路图, 写清实验原理.
2. 写清楚实验步骤及注意事项.
3. 数据记录及误差处理.

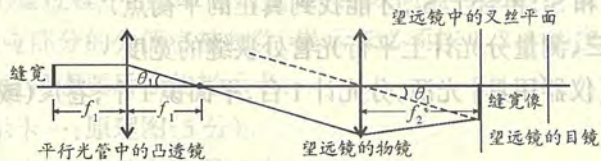
[注意]

1. 望远镜光轴、平行光管光轴与分光计转轴已经调垂直了, 实验中不需要再调节, 即不要调节望远镜、平行光管的俯仰调节螺丝.

2. 在实验过程中, 如果想不出实验方案, 可向监考老师申请提示卡一: 光路图(4分), 提示卡二: 实验原理说明(5分), 同时相应部分的分值将被扣除.

图3. 实验结束后,经监考老师同意方可离开实验室.

提示卡一:
 提示卡二:
 实验原理说明:
 设目镜叉丝平面处的狭缝像对望远镜物镜的张角为 θ_1 , 转动望远镜到狭缝的两边, 分别测出其对应的位置, 转过的角度就是狭缝像对望远镜物镜中心的张角 θ_1 ; 也就是狭缝对平行光管中凸透镜中心的张角 θ_1 .



提示卡二:

实验原理说明:

设目镜叉丝平面处的狭缝像对望远镜物镜的张角为 θ_1 , 转动望远镜到狭缝的两边, 分别测出其对应的位置, 转过的角度就是狭缝像对望远镜物镜中心的张角 θ_1 ; 也就是狭缝对平行光管中凸透镜中心的张角 θ_1 .

狭缝的宽度为: $b = \theta_1 \times f_1$.

内蒙古自治区

一、测定以下两种材料物体的密度(假设材料均匀)

1. 规则形状的圆柱体铜棒.
2. 不规则形状的塑料块.

[仪器用具] 物理天平 1 台, 游标卡尺 1 把, 水杯 1 个, 棉线若干.

[要求]

1. 简述测量原理.
2. 写出主要实验步骤.

3. 列表记录实验的原始数据.
4. 写出实验所用的计算公式及实验结果.
5. 对实验结果进行讨论.

[提示] 如考生不能自己给出测量不规则形状的塑料块密度的原理, 可申请主考教师提示, 提示扣 5 分.

[常数] 水在常温下的密度 $\rho_{\text{水}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$, 重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$.

二、用两种方法测量金属膜电阻的阻值

1. 利用所提供仪器自组电桥测量“待测金属膜电阻”的阻值.

2. 利用 QJ60 型教学单双两用电桥再次测量该电阻的阻值.

[仪器用具] 5 V 直流电源 1 台, AC5 型直流检流计 1 台(配使用说明书 1 本), ZX56a 型直流电阻箱 1 只, ZX21 型直流电阻箱 2 只, 滑动式电位器 1 只, 待测金属膜电阻(阻值 100Ω 左右) 1 只, 单刀双掷开关 1 个, 导线若干根, QJ60 型教学单双两用电桥 1 台(配使用说明书 1 本).

[要求]

1. 给出第一种方法的电路图; 写出测量原理; 依照电路图接线并测出“待测金属膜电阻”的阻值, 记为 R_{x1} .
2. 用 QJ60 型教学单双两用电桥再次测量该电阻的阻值, 记为 R_{x2} .
3. 比较两次测量结果的精度, 分析其中原因.
4. 分析要求 1 中测量结果的精度与哪些因素有关.
5. 自行设计数据表格记录原始数据, 并完成实验报告.

[提示]

1. 第一种测量方法的电路图如考生不能自行给出, 可申请主考教师提示, 提示扣 4 分.

2. 实验中如怀疑导线内部有断处,可申请主考教师提供万用表,不扣分。

3. AC5型直流检流计和QJ60型教学单双两用电压表的使用说明见仪器说明书。

辽宁省

一、测窗口上沿的高度

[仪器用具] 杨氏模量仪,钢卷尺。

[要求]

1. 写出实验原理及公式。
2. 写出实验的主要步骤。
3. 写出主要仪器的调整及使用步骤。
4. 给出实验结果。

二、测量纸片的厚度

[仪器用具] 氦氖激光器($\lambda = 633 \text{ nm}$)1台,光屏、钢卷尺、坐标纸、白纸各1,刀片2个。

[要求]

1. 写出实验测量原理。
2. 画出装置图及光路图。
3. 写出主要实验步骤。
4. 测量并给出实验结果。

三、测量铁磁质的动态磁滞回线

铁磁物质的磁感应强度 B 与磁场强度 H 之间的关系曲线如图:当磁场按 $O-A-C'-A'-C-A$ 次序变化,相应的磁感应强度 B 形成闭合曲线,称为磁滞回线, H_c 为矫顽力, B_r 为剩磁。矫顽力较小的,称为软磁质,较大的称为硬磁质。用磁滞回线实

验仪测量磁滞回线,测量线路图见仪器内盖板。样品的磁化场强

$H = \frac{N}{LR_1} U_1$, 磁感应强度 $B =$

$\frac{C_2 R_2}{nS} U_2$, 其中 $N = 50, L = 60 \text{ mm},$

$R_1 = 2.5 \Omega; n = 150, S = 80 \text{ mm}^2,$

$C_2 = 20 \mu\text{F}, R_2 = 10 \text{ k}\Omega. U$ 的取值




范围 $2 \sim 3 \text{ V}$ 。将 U_1 和 U_2 分别加到

示波器“X输入”和“Y输入”便可观察

到被测样品的磁滞回线、剩磁 B_r 、矫顽力 H_c 。

[仪器用具] 示波器,磁滞回线实验仪,导线若干。

[要求]

1. 由仪器所给的测量线路图,画出原理电路图(符号:示波器 , 样品 , 交流源 )。
2. 正确连线。
3. 调节示波器,显示大小合适的磁滞回线。
4. 判断样品 1、2 哪一个是软磁质,哪一个是硬磁质?
5. 测量样品 1 的剩磁 B_r 和矫顽力 H_c 。

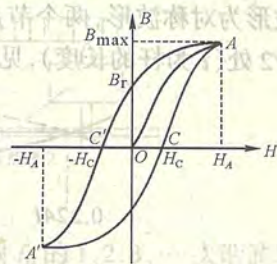
吉林省

一、测量杆的基频和弹性模量

一细长杆做微小横振动,当发生基频共振时,共振频率 f_0 由下式决定

$$E = 3.3164 \frac{m^4}{\rho^3 d^{10}} f_0^2$$

其中, E 为杆的弹性模量, m 为杆的质量, ρ 为杆的密度, d 为杆的直径, f_0 为杆发生基频共振时的振动频率。



杆的横振动节点与振动级次有关.最低级次(基频)的振动波形为对称波形,两个节点分别在 $0.224l$ 和 $0.776l$ 处,波腹在 $l/2$ 处(l 为杆的长度),见图 1.

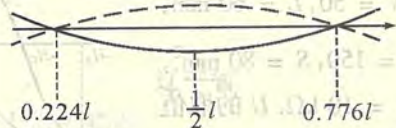


图 1

[仪器用具]

1. 信号发生器 1 台: 输出简谐波, 频率范围为 $0 \sim 2.5$ kHz, f_A 为频率粗调钮, f_C 为频率细调钮. 输出幅度固定在功率档; V_C 为输出幅度细调钮.

2. 示波器 1 台: CH_1 为激发信号(从信号发生器输出的信号), CH_2 为接收信号, 示波器格式已设置为 XY 方式. 除 CH_1 和 CH_2 的灵敏度钮(伏/格)可自行调节外, 其他勿需调节.

3. 杆状试样 1 根: 质量 $m = 75.00$ g, 密度 $\rho = 8.2893 \times 10^3$ kg/m³. 试样两端对称刻有数个间隔为 5.000 mm 的圆环线.

4. 千分尺 1 个.

5. 小改锥 1 个.

6. 弹性模量测定仪 1 台.

如图 2 所示. 信号发生器发出的简谐信号同时送至示波器的 X 轴和(激发)换能器 1 上. 这简谐信号经(激发)换能器 1 转换为机械振动信号, 通过支撑物传入试样, 引起试样振动. 当振动频率为试样共振频率时, 振动的情况通过另一支撑物传到(接收)换能器 2, 转换为电信号, 送入示波器的 Y 轴, 与 X 轴的信号合成为李萨如图形.

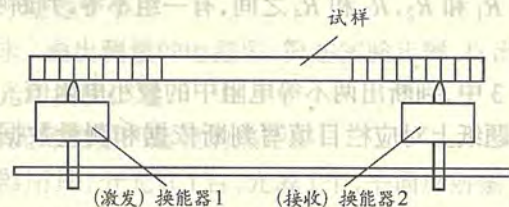


图 2

判断试样是否发生基频共振: 基频 f_0 的 1, 2, 3, ... 次谐波均可使试样发生共振, 而基频共振时的振幅最大(Y 轴幅度最大), 且试样的振动波形为图 1 所示. 可用小改锥轻触试样各点, 同时观察示波器图形. 当触点在波腹时, 对李萨如图形影响最大; 当触点在节点时, 对李萨如图形影响最小.

[要求]

1. 理论上支撑点应在节点, 否则会导致共振频率偏移. 但在节点处振动难以激发也难以接收. 为此, 可在节点之外开始测量. 这时因支撑点不在节点上, 故测得的共振频率有偏移. 随着支撑点逐渐靠近节点, 频率的偏移也越来越小. 利用节点外几个支撑点测得的数据, 用外推法(作图), 求出支撑点在节点时的基频共振频率 f_0 .

2. 计算出试样的弹性模量 E .

二、测量线路中特定电阻

[仪器用具] 由若干元件组成的线路组合, 电压表, 电源, 导线若干.

[要求]

1. 调整电源输出为 2.40 V, 用电压表测出电压的准确值.

2. 判断二极管的方向.

3. 电阻 R_1 和 R_2 , R_3 和 R_4 之间, 有一组不等. 判断哪一组不等.

4. 测量 3 中, 判断出两不等电阻中的较小电阻值.

5. 在答题纸上对应栏目填写判断依据和测量数据、公式及结果.

[说明]

1. 线路板上有三个接线柱, A、B 间电阻为 R_1 , B、C 间电阻为 R_2 , A、C 间电阻为 R_3 , R_4 , 其中间点为 D, B 与 D 间接有二极管 (已密封).

2. 电压表在使用中内阻已知, 内阻为 $200 \Omega/V$.

3. 可以用导线短路部分元件.

三、测量透镜的焦距

[仪器用具] 氦氖激光器, 凸透镜, 平面反射镜及白屏、带刻度尺孔屏各 1 个, 光导轨及二维可调滑座.

[要求]

1. 简述实验测量原理.

2. 画出实验测量光路图并推导出测量公式.

3. 简述实验测量步骤.

4. 测量 3 次, 计算算术平均误差.

5. 特别注意: 带刻度尺孔屏只能放在透镜与光源之间使用!

黑龙江省

一、电学实验试题

用补偿法测量干电池的电动势和内阻.

[仪器用具] 直流稳压电源 1 台, 毫安表 1 台, 检流计 1 只, 滑动变阻器 1 只, 固定电阻 (阻值为 30Ω) 1 个, 开关 1 只, 导线若

干, 被测干电池 1 节.

[要求] 画出测量的电路图, 简述实验步骤, 得出实验结果.

二、光学实验试题

用分光计测量凹透镜的焦距.

[仪器用具] 分光计 1 台, 光源 1 个, 平面反射镜 1 个, 焦距为 25 cm 的凸透镜 1 个, 钢板尺 1 把, 橡皮泥少许, 待测凹透镜 1 个.

[要求] 画出测量的光路图 (为简单起见, 物可用点物代表), 简述实验步骤, 给出测量结果.

江苏省

一、测定物体的质量及质心位置

[仪器用具] 物理天平, 米尺, 刀口, 待测物体 (扣板), 坐标纸.

[说明] 待测物体由上下两块扣板扣在一起构成, 下板一头贴一枚一元硬币, 不得取下, 上下两板的相对位置可以移动, 但不允许分开. (分开测量按零分计算)

[要求]

1. 正确使用物理天平称出待测物体的总质量.

2. 在上下两板不分开的情况下确定上板、下板 (连同硬币) 的质量, 并确定下板 (连同硬币) 质心位置的测量方案. 要求写出计算公式、实验步骤.

3. 列出数据表格, 正确记录数据.

4. 作图并计算得出上板、下板 (连同硬币) 的质量及下板质心的位置.

二、电学黑盒子

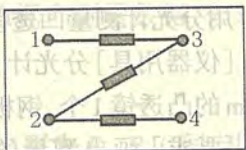
[仪器用具] 电学黑盒子, 示波器, 信号发生器, 电阻箱 1 只,

导线若干,坐标纸。

[说明] 出群, 鼎走錄实书高, 图器申油量断出画 [未要]

1. 示波器与信号发生器是共地的。

2. 电学黑盒子如图所示, 有 1, 2, 3, 4 四个接线柱, 串联了电阻、电感、电容三个元件。



[要求]

1. 判断各个元件所在位置, 并给出相应的电路图。

2. 测出黑盒子中各元件的数值。

3. 由黑盒子构成 RLC 串联电路, 保持 RLC 电路两端电压 $V_{pp} = 1 \text{ V}$, 在 f 为 $500 \sim 4000 \text{ Hz}$ 范围内测量, 画出其电流与频率的关系曲线。

4. 确定共振频率。

[注意] 要求写出计算公式、实验步骤, 列出测量数据和计算结果。

· 参考解答 ·

一、

移动上下两板的相对位置, 测量整块质心的位置. 列出转动的平衡方程, 用作图法解。

二、

可以测量交流阻抗判断各元件的位置. 将待测元件与电阻箱串联, 用相位法或阻抗法可测得元件数值. RLC 串联电路: 将信号源与 1, 4 串联, 示波器一个通道监视电路两端的电压, 使之恒定, 另一个通道联电阻两端以测量其电流. 改变频率, 记录电流的值。

浙江省

一、测量人体感应电压

[仪器用具] 示波器 1 台, 信号发生器 1 台。

[要求]

1. 测量人体在实验室内感应电压的大小和频率。

2. 画出电路图, 给出测量数据及结果。

二、测三棱镜顶角和最小偏向角

[仪器用具] 三棱镜, 大头针, 厚纸板, 坐标纸, 三角尺, 量角器。

[要求]

1. 用两种方法测三棱镜顶角. 画出光路图, 给出结果。

2. 光线从棱镜腰间入射, 入射光与出射光的夹角为偏向角. 测量最小偏向角, 写出实验步骤, 画出光路图, 给出结果。

· 参考解答 ·

一、

1. 使示波器处于正常工作状态。

2. 用手捏紧 Y 轴输入, 调节扫描等使示波器上显示稳定的感应电压波形(正弦波有小的干扰), 测量波形峰对峰高度。

3. Y 轴输入 1 V 或 5 V 正弦信号, 对示波器定标, 可以计算出感应电压的大小(因各人皮肤干燥不同, 电压大小不等)。

4. 用手捏紧 Y 轴输入, X 轴输入正弦信号, 调节信号发生器频率, 在示波器上形成一个稳定的椭圆(有小的干扰). 此时信号发生器频率为感应电压的频率(应为 50 Hz)。

二、

1. 把三棱镜放在纸板上, 用插针法求解。

2. 测顶角

(1) 在两面用反射法求顶角, $\angle A = 180^\circ - \angle \alpha$.

(2) 顶角入射法求顶角, 从几何可以证明从顶角入射 a、b, 两条光线反射光的夹角 α , 是顶角 A 的 2 倍, 则 $\angle A = \frac{1}{2} \angle \alpha$.

3. 转动三棱镜, 可找到最小偏向角.

安徽省

一、测定两组电源的电动势比值

[仪器用具] 电源 2 组 ($E_1 > E_2$), 电阻箱 2 个, 检流计 1 只, 单刀开关 1 个, 保护开关 1 个, 导线若干.

[要求]

1. 电池组内阻不能忽略.
2. 测量方法不能有系统误差.
3. 画出测量方法的电路图.
4. 导出公式, 写出步骤, 测出数据, 算出结果.

二、测液体的折射率

[仪器用具] 待测液 1 000 mL, 烧杯(800 或 1 000 cc) 1 只, 吸管 1 支, 金属块 1 块, 细线 1 根, 螺帽 1 个, 大头针若干(自取), 图钉若干(自取), 纸板 1 块(可竖直放置), 白纸 2 张, 卡尺、直尺各 1 把.

[要求]

1. 写出实验步骤.
2. 画出光路图, 图上标明测量量, 算出结果.
3. 只要求做一次测量.
4. 提供的所有器材必须全部用上.

· 参考解答 ·

一、 方法一:

1. 原理: 如图 1, 合上开关, 当 G 中电流为零时有

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1 + R_2 + r_1}{R_2}$$

改变 R_1, R_2 为 R_1', R_2' , 使 G 中电流仍为零, 则有

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1' + R_2' + r_1}{R_2'}$$

消去 r_1 , 得

$$\frac{E_1}{E_2} = 1 + \frac{R_1' - R_1}{R_2' - R_2}$$

2. 步骤:

- (1) 断开开关, 按图接线.
- (2) 为不使有效位数太少, R_1, R_2 应取百位数.
- (3) 合上 S, 使用 $S_{保}$ 的粗调, 调节 R_1 或 R_2 , 使电流为零后再用细调, 调节电流为零时, 记下 R_1, R_2 值.
- (4) 改变 R_1, R_2 值, 改变量应有十位数值, 方法同(3), 求得 R_1', R_2' 后用上式计算.

方法二:

1. 原理: 如图 2, 当 G 中电流为零时, 即 $I_1 = I_2$. 则有

$$\frac{E_1}{R_2 + r_1} = \frac{E_2}{R_1 + r_2}$$

改变 R 值使 G 值再次为零, 应有

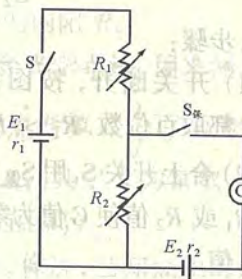


图 1

$$\frac{E_1}{R_2' + r_1} = \frac{E_2}{R_1' + r_2}$$

消去 r_1, r_2 得

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_1' - R_1}{R_2' - R_2}$$

2. 步骤:

(1) 开关断开, 按图接线.

R_1, R_2 都取百位数. $R_1 > R_2$.

(2) 合上开关 S, 用 $S_{保}$ 粗调, 调节 R_1 或 R_2 值使 G 值为零记下 R_1, R_2 值.

(3) 改变 R_1, R_2 值, 改变量应有十位数, 重复步骤(2)的操作, 记下 R_1', R_2' 值代入公式计算.

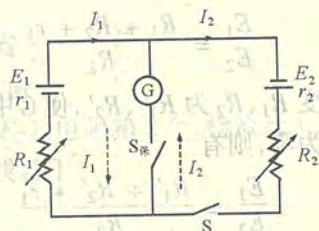


图 2

福建省

一、用所给仪器测量食盐密度

[仪器用具] 物理天平及砝码, 无刻度医用针筒及支架, 重物, 食盐, 游标卡尺, 气门芯 1 段, 夹子.

[要求]

1. 推导出测量食盐密度的基本公式.
2. 列出实验的主要步骤.
3. 测出结果.

二、给定以下仪器测微安表的内阻

[仪器用具] 1.5 V 电源 E , 滑线变阻器 R (只能作分压用), 10 mA 毫安表, 11 线标准电阻 R_s (每米 7Ω), 100 Ω 固定电阻

R_0 (只作限流用), 待测微安表, 开关, 导线若干.

[要求]

1. 电表的读数误差应尽可能小.
2. 画出电路图, 写出微安表内阻 R_g 的计算公式.
3. 说明主要步骤, 并测出微安表的内阻 R_g .

三、利用给定光学器具, 设计一套光学系统, 用来测定各种薄透镜 (凸透镜或凹透镜) 的焦距 Φ (焦距 $\Phi = \frac{1}{f}$, f 为透镜的焦距). 并能得到焦距公式为: $\Phi = k \cdot \Delta x$ (其中 k 为常数, 可用已知量表示, Δx 为某个光学器具移动的距离).

[仪器用具] 光具座, 光源, 物屏, 像屏, 已知焦距的凸透镜 ($f_0 = 15.00 \text{ cm}$), 未知焦距的凸透镜, 待测透镜等.

[要求]

1. 说出所设计的这套光学系统的方案, 并画出光路示意图.
2. 推导出焦距的公式.
3. 简要说明调试步骤, 并利用这套光学系统测出待测透镜的焦距 Φ .

江西省

试题 I

一、测量超声波在空气中的传播速度 v

[仪器用具] 声速测试架 (带数字温度表), 信号源, 双踪示波器, 金属屏蔽线, 坐标纸等. 附双踪示波器使用说明书.

[要求]

1. 正确连接测试线路, 应用驻波共振法测量超声波在空气中的传播速度 v .

2. 自行列表, 记录原始数据, 得出实验结果. 求出声速的理论值.

$$v_{\text{理}} = v_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{T_0}}$$

式中 t 为室温 (由数字温度表直接读出), $T_0 = 273.13 \text{ K}$, $v_0 = 331.45 \text{ m/s}$ 为 $t = 0^\circ\text{C}$ 时的声速, 并求出相对误差

$$E = \frac{|v - v_{\text{理}}|}{v_{\text{理}}} \times 100\%$$

[提示] 利用压电陶瓷换能器作为超声波 (实验频率 $20 \sim 50 \text{ kHz}$ 之间) 的发射器和接收器. 当压电陶瓷换能器 S_1 、 S_2 之间的距离 L 等于声波半波长的整数倍时, 系统处于驻波共振态, 有

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

即示波器上所接收的信号幅度每一次周期性变化, 相当于 S_1 、 S_2 之间的距离改变了 $\lambda/2$, 此距离可由游标卡尺读出.

二、测定空气对超声波的吸收系数 α

[仪器用具] 同题“一”

[要求]

1. 简要写出实验步骤.
2. 自行列表, 记录原始数据, 得出实验结果.

[提示] 声波强度与示波器上正弦波的幅值的平方成正比, 正弦波幅值可从示波屏上读出. 强度为 I_0 的声波通过长为 L 的均匀媒质时, 声波强度变为 I

$$I = I_0 e^{-\alpha L}$$

式中 α 为吸收系数.

三、如何测量超声波在液体中的传播速度? 如何测量超声波

在固体中的传播速度?

[仪器用具] 同题“一”

[要求] 分别简要写出实验设计的思路.

试题 II

一、测定三棱镜对汞灯各色光的折射率 n

[仪器用具] 分光仪, 汞灯, 双面平面镜, 等边三棱镜, 透射光栅, 偏振片. 附分光仪结构示意图.

[要求]

1. 将分光仪调至使用状态: 要求望远镜聚焦无穷远, 平行光管和望远镜光轴重合并与仪器的转轴垂直.

2. 利用最小偏向角法测出三棱镜对汞灯较强各色光 (黄光、绿光、蓝光) 的折射率 n_1 、 n_2 、 n_3 . 可自行列表, 记录原始数据, 得出实验结果.

[提示] 三棱镜折射率公式

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(\delta_{\min} + A)}{\sin \frac{1}{2}A}$$

式中 A 为等边三棱镜顶角, δ_{\min} 为最小偏向角.

二、利用分光元件——透射光栅测定汞灯各色光谱线的波长 λ

[仪器用具] 同题“一”

[要求]

1. 将光栅装好放置在分光仪载物台上, 观察光栅衍射现象, 测定汞灯各色光谱线 (主要是黄光、绿光、蓝光) 的波长 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 . 可自行列表, 记录原始数据, 得出实验结果.

2. 实验中如何使平行光管出射的平行光垂直入射到光栅

上?由波长 λ 和折射率 n 的实验结果,你能够得出什么结论?

[提示] 平行光垂直入射时的光栅衍射公式为

$$d \sin \varphi_k = k \lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

式中 d 为光栅常量, $d = 1/300 \text{ mm}$, 即每毫米有 300 条线. φ_k 为 k 级明纹所对应的衍射角, 可由分光仪测出, 测量时建议取 $k = \pm 1$ 谱线.

三、利用光的偏振法测三棱镜折射率

[仪器用具] 同题“一”

[要求] 画出用光的偏振法测三棱镜折射率的光路示意图, 扼要写出测量步骤.

[提示] 在空气中, 当自然光入射到玻璃面上时, 反射光一般为部分偏振光. 仅当入射光达到某一特定值 i_0 时, 反射光成为完全偏振光, 这时角 i_0 称为布儒斯特角. 由布儒斯特定律

$$\tan i_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

确定. 式中 n_1 为空气折射率 ($n_1 \approx 1$), n_2 为玻璃折射率.

山东省

一、测量金属丝的直径

[仪器用具] 未知波长的激光器, 未知焦距凸透镜, 待测金属丝, 光屏 1, 光屏 2(中间带孔), CD 光盘, 米尺, 三角板, 支架若干, 金属夹等.

[要求]

1. 自己设计实验方法, 根据需从以上仪器与用具中选择合适的器材, 采取适当方法和措施, 尽量准确地测量激光的波长和待测金属丝的直径.

2. 画出测量光路图, 准确地反映出各器件间的位置、角度等关系, 在图中注明各量, 与计算公式中的一致.

3. 简述为提高测量准确性所采取的方法和措施.

4. 完整记录测量数据, 写出计算公式, 计算结果.

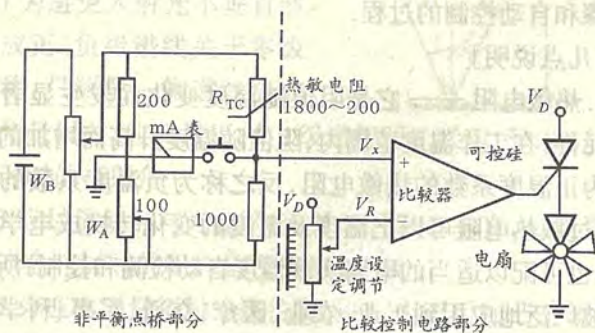
[说明]

1. 待测金属丝已装在光屏 2 的中心孔处.

2. CD 光盘表面是一些在光滑平面上连续不断的“坑点”同心圆轨迹, 其密度为每毫米 625 条.

二、温度自动控制电路的研究

如图所示是一个温度自动控制电路, 其中, 虚线左侧是非平衡电桥电路(通常称为电子温度计电路), 以实现非电学量(温度)与电学量(电流)之间的转换, 图中 W_A 、 W_B 分别用于电子温度计定标(即调节 mA 表指零和满度), 虚线右侧是比较控制电路, 用于 V_x 与 V_R 二个电压信号进行比较. 若 $V_x > V_R$ 时, 则电风扇运转; 当 $V_x \leq V_R$ 时, 则电风扇停转, 从而, 实现温度自动控制.



温度自动控制原理图

[仪器用具] 数字万用电表, 电阻箱, 实验板(数字温度计、热敏电阻、加热器、毫安表、电位器、开关、比较控制电路、电风扇)等。

[要求]

1. 测量热敏电阻的 $t - R_t$ 特性曲线

将热敏电阻和数字温度计探头插入加热器中(已插好), 按下加热器开关加热, 从 $30^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 每隔 5°C 测量各温度下热敏电阻的电阻值(只测表中缺项即可), 根据表中测量数据作热敏电阻的 $t - R_t$ 特性曲线。

$t/^\circ\text{C}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	100
R_t/Ω						529	448	380	323	276	238	205	179	137

2. 电子温度计定标

根据原始电路参数和测量参数, 接通 mA 表开关, 将电子温度计定标于 30°C (0 mA) 和 100°C (10 mA). 简述定标过程。

3. 设计温度自动控制方案

试设计温度分别设定为 38°C 和 58°C 时的控制方案. 简述操作步骤和自动控制的过程。

[几点说明]

1. 热敏电阻 —— 它是阻值随温度变化而发生显著变化的敏感元件. 在工作温度范围内, 阻值随温度升高而增加的热敏电阻称为正温度系数的热敏电阻, 反之称为负温度系数的热敏电阻. 通过敏热电阻可以把温度及温度的变化转换成电学量加以测量, 也可配以适当的电路实现温度自动检测和控制. 所以热敏电阻被广泛地应用到工业、农业、医疗、交通、军事、科学研究等各个领域。

2. 筒型加热器 —— 用于加热调节温度变化, 由开关控制。

3. 数字式温度计 —— 用于测温, 其探头与热敏电阻已经插入加热器中。

4. 热敏电阻的列表阻值可能与实际测量值有一定差异 —— 这与数字温度计探头与热敏电阻所放的位置有关。

5. 数字式万用表与指针式万用表的不同 —— 超量程显示“1”, 测电阻时直接读取数据, 其单位($\Omega/\text{k}\Omega/\text{M}\Omega$)与使用的量程有关。

· 参考解答 ·

一、

(一) 半导体激光器波长的测量

1. 测量光路图: 用反射光栅衍射的方法测量激光的波长。

2. 测量中采取的措施和注意事项:

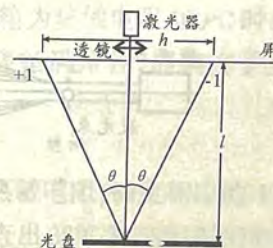
(1) 入射光应采取垂直照射. 可以用光线是否沿原路返回来判断是否垂直照射。

(2) 为避免入射光不垂直照射而造成正、负级谱线关于零级谱不对称, 只测量一侧谱线造成衍射角测量误差, 应测量正、负 1 级谱线间总夹角, 除以 2 后得到垂直入射时的衍射角。

(3) 应尽量使屏与光盘平行, 并与入射光垂直. 可用测量不同位置光盘与屏间的距离是否相等来判断。

(4) 为准确测量衍射光斑位置, 可在光源后加凸透镜, 将光斑汇聚成较小的光点。

(5) 多次测量。



3. 计算公式

由光栅衍射方程

$$d(\sin\varphi + \sin\theta) = k\lambda$$

φ 为入射角, θ 为衍射角. 当入射光垂直光盘表面时, $\varphi = 0$, 测量 1 级谱线衍射角, 所以

$$\lambda = d\sin\theta$$

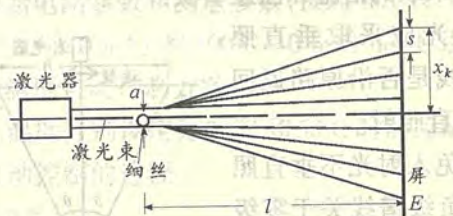
其中

$$d = \frac{1}{625} \text{ mm} = 0.0016 \text{ mm}$$

$$\theta = \arctan \frac{h}{2l} \quad (\text{标准值: } 23.96^\circ)$$

(二) 测量金属丝直径

1. 测量光路图: 采用衍射原理测量细丝直径.



不用透镜的激光细丝衍射

2. 测量中采取的措施和注意事项:

(1) 像屏要与激光束垂直.

(2) 为使衍射光斑清晰, 可在光源与细丝间加汇聚透镜. 不可加在细丝之后, 因透镜焦距未知.

(3) 测量的衍射条纹级数 k 在衍射条纹能看清楚的情况下, 尽量大一些.

多次测量.

二、分光计使用说明书

(一) 测量热敏电阻的特性曲线

1. 接通加热电源, 分别测出各温度下的热敏电阻阻值.

2. 根据测量数据绘制热敏电阻的温度特性曲线.

(二) 电子温度计定标

定标的实质是确定测温范围, 即下限温度和上限温度, 并在电流计上标明相应的温度. 该步骤可用电阻箱代替热敏电阻接在相应位置来完成.

1. 确定下限温度

取 30°C 为下限温度, 调电阻箱为热敏电阻 30°C 时的电阻值, 接通 mA 表, 调节 W_A 使电流表指零, 即确定了下限温度.

2. 确定上限温度

取 100°C 为上限温度, 调电阻箱为热敏电阻 100°C 时的电阻值, 接通 mA 表, 调节 W_B 使电流表指满量程, 即确定了上限温度.

(三) 设计温度自动控制方案

1. 方案 1——用电阻箱代替热敏电阻, 确定相应的 V_R .

从热敏电阻温度曲线上分别查出 38°C 和 58°C 时的电阻值, 调节电阻箱为查出值, 分别测量 mA 表两端的电压, 调节 V_R 为测得电压值, 然后接入热敏电阻, 当温度超过设定温度时, 电风扇运转, 低于设定温度时, 电风扇停转, 如此过程周而复始, 从而达到温度控制之目的.

[续表]

2. 方案 2——从热敏电阻温度曲线上分别查出 38°C 和 58°C 时的电阻值, 调节电阻箱为查出值, 细心调节 V_R 使电风扇旋转为止, 然后接入热敏电阻, 当温度超过设定温度时, 电风扇运转,

低于设定温度时,电风扇停转,如此过程周而复始,从而达到温度控制之目的.

3. 方案3——直接接入热敏电阻加热,同时分别测量 38°C 和 58°C 时 mA 表两端的电压,调节 V_R 为测得电压值,然后接入热敏电阻,当温度超过设定温度时,电风扇运转,低于设定温度时电风扇停转,如此过程周而复始,从而达到温度控制之目的.

河南省

一、利用以下器材组装一档欧姆表

[仪器用具] 微安表头 ($50\ \mu\text{A}$) 1 个, 甲电池 ($1.5\ \text{V}$) 1 节, 直流电阻箱 2 个, 电位器 (板) 1 个, 开关 1 个, 导线若干.

[要求]

1. 设计成串联电路, 并画出设计线路图.
2. 根据已知参数 I_g 、 R_g 、 E ($E_{\max} = 1.7\ \text{V}$ 和 $E_{\min} = 1.2\ \text{V}$ 为甲电池电动势上下浮动范围), 计算出保护电阻和调零电阻, 按设计选择仪器、元件及参数, 并连接线路.

3. 标定并画出欧姆表表面刻度尺 (按 $0, 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ 间隔标定, 单位: $\text{k}\Omega$), 并说明欧姆表中值电阻与欧姆表内阻的数量关系.

二、用 JJY - 1' 型分光计测蓝光波长

[仪器用具] JJY - 1' 型分光计 1 台, 光学平行平板 1 个, 低压汞灯 1 台, 透射光栅 (光栅常量为 $1/600\ \text{mm}$ 或 $1/300\ \text{mm}$) 1 块.

[要求]

1. 调节分光计, 写出调节分光计目镜、望远镜、狭缝的要求.
2. 利用汞光源的正负 1 级蓝光谱线测定其衍射角, 写出光栅方程表达式和测量所用公式; 计算出蓝光波长.

[说明]

1. 分光计使用说明书供查看.
2. 分光计目镜、望远镜、狭缝调整后请监考教师查验.
3. 写不出光栅方程表达式和测量所用公式可请监考教师提示, 但要扣除相应的分数.
4. 若调不好分光计可请监考教师调整, 亦要扣除相应的分数.

湖北省

一、螺绕环参数的测量 (电学实验题)

[仪器用具] 信号发生器, 双踪示波器, 固定电阻 (阻值未知), 固定电容 (电容量未知), 固定电感 (电感量为 $L = 68\ \text{mH}$), 1 段漆包线, 1 块砂布, 连接导线, 待测螺绕环.

[要求]

1. 简述实验原理和测试方案.
2. 写出主要步骤, 列表记录数据.
3. 计算出磁芯的相对磁导率 μ_r .
4. 简要说明影响测量结果的主要因素.

[提示]

1. 螺绕环磁芯的相对磁导率为 $\mu_r = \frac{L_x}{L_0}$
式中 L_x 为螺绕环内放入磁芯时的电感量, L_0 为螺绕环内为真空时的电感量.

$$2. \quad L_0 = \frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

式中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 为真空中的磁导率, $a = 11.7 \text{ mm}$ 为螺绕环内半径, $b = 18.82 \text{ mm}$ 为螺绕环外半径, $h = 6.84 \text{ mm}$ 为螺绕环的高度, N 为螺绕线圈的总匝数. 磁芯的结构如图 1 所示.

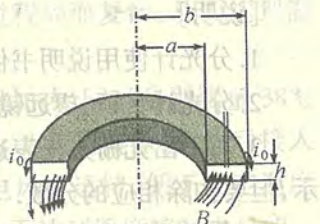


图1 磁芯的示意图

二、光学实验题

[仪器用具] 分光计 1 套, 双面平面镜, 顶角为 60° 的三棱镜 1 块, 光栅 (光栅常量见光栅上), 钠光灯, 毛玻璃 1 块.

[要求]

1. 写出测量钠光在三棱镜中的波长的公式.
2. 写出主要的实验步骤 (必须按操作规范写).
3. 列表格记录测量数据.
4. 计算实验结果.
5. 测量出射角 (折射角) 最小值 (写出主要步骤).
6. 放上三棱镜测量时, 必须升起载物台吗? 为什么?

[说明] 测量最小出射角时, 可直接将平行光管狭缝从套筒中取出.

· 参考解答 ·

一、

1. 由 R, L, C 组成串联回路, 用谐振法测量 L_x . 测量实验线路如图 1 所示, 调节信号源的频率使回路达到谐振, 谐振频率满足下式:

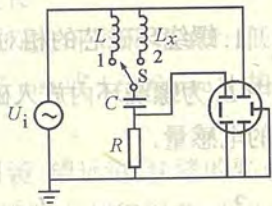


图1

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

对于 L 有

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

对于 L_x 有

$$f_x = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_x C}} \quad (2)$$

由 (1)、(2) 两式得

$$L_x = \frac{f^2}{f_x^2} L$$

2. 测量螺绕线圈的匝数 N .

在螺绕环上绕一副线圈, 匝数为 N' (如 $N' = 10$), 测量线路如图 2 所示, 用示波器测量其电压峰 - 峰值 U 和 U' , 则由

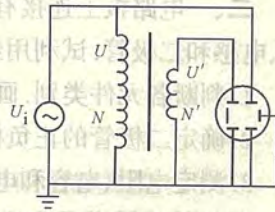


图2

$$\frac{U}{U'} = \frac{N}{N'}$$

得出螺绕线圈的匝数

$$N = \frac{U}{U'} N'$$

3. 根据所测得的数据 N 及已知量 a, b, h , 由公式

$$L_0 = \frac{\mu_0 N^2 h}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$$

计算出 L_0 . 根据所测得的数据 L_x , 由 $\mu_r = \frac{L_x}{L_0}$ 计算出 μ_r 值.

4. 影响测量结果的主要因素

- (1) 螺绕环存在漏磁, 影响 L_x 和 N 的测量值.
- (2) 用示波器测电压所产生的误差影响 N 的测量值.

湖南省

一、利用下列给定的所有“仪器用具”测定含杂蜡烛中的杂质与蜡烛的质量比(已知室温下水的密度为 $1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 蜡烛的密度为 $0.87 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 杂质的密度为 $3.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)。

[仪器用具] 焦利秤, 500 mg 的砝码若干, 水, 烧杯, 含杂质蜡烛, 细线等。

[要求]

1. 写出实验原理和公式。
2. 写出数据处理的详细过程和测量结果。

二、一电路板上连接有 4 个元件, 它们分别可能为电阻、电容、电感和二极管。试利用给定的仪器和用具, 完成下列任务:

1. 判断各元件类别。画出电路板图。
2. 确定二极管的正负极。
3. 测定电阻、电容和电感值。

[仪器用具] 信号发生器、双踪示波器各 1 台, 电阻箱 1 只, 待测电路板 1 块, 导线若干。

[要求]

1. 元件判别都要简述方法和理由。
2. 简述测量原理, 画出测量电路图。
3. 误差估算及分析。

[注意] 信号发生器输出电压不超过 10 V, 频率不超过 10 kHz 为宜。

广东省

A 题

一、测量两种液体的密度比

[仪器用具] 弹簧, 两杯液体, 蜡块, 金属夹子, 支架, 米尺, 细线。

[要求]

1. 简要写出测量步骤。
2. 写出计算式。

二、测量食盐的密度

[仪器用具] 物理天平, 烧杯, 水, 食盐, 游标卡尺, 薄膜 2 片。

[要求]

1. 写出测量步骤。
2. 写出计算式。

B 题

三、测量通过某电阻 r 的电流与其阻值的关系

[仪器用具] 双路直流可调稳压电源 1 台, 直流电流表 (100 μA , 内阻 2.20 k Ω), 电流计, 电阻箱, 滑线变阻器, 电阻丝 1 段 (100 Ω/m), 两端带接线叉的电阻 (约 1 k Ω), 并联保护电阻的开关, 某电阻, 坐标纸, 导线, 米尺等。

[要求]

1. 测量中要用到电压补偿法。
2. 画出电路图。
3. 两个电源输出电压均为 5 V。
4. 写出计算式。
5. 写出简要步骤。
6. 作 $I-r$ 关系曲线。

广西壮族自治区

一、熔解热的测量

[仪器用具] 量热器 1 套(其中内筒和搅拌器的比热容为 $0.904 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), 温度计 2 支(其比热容可忽略不计, 其量程分别为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$ 和 $0 \sim 100^\circ\text{C}$), 物理天平 1 台, 冰水混合物适量, 热水适量(水的比热容为 $4.18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), 吸水纸若干, 秒表 1 块.

[要求] 选用以上所给的仪器、用具和数据, 设法测定在 0°C 时冰的熔解热.

1. 写出实验原理和步骤.
2. 严格按规范的操作规程进行测量, 记录数据, 算出结果.
3. 讨论产生误差的主要原因, 提出减少误差的方向(提示: 其中一个方向需要用到秒表).

二、利用微安表制作交流电压表

[仪器用具] 微安表、干电池、电池座、滑线变阻器、电阻箱、开关、硅理想二极管各 1 个, 导线若干.

[要求] 选用上述器材制作一个量程为 10 V 的交流电压表.

1. 写出实验原理和步骤, 画出相应的电路原理图.
2. 进行必要的测量, 记录实验数据.
3. 进行计算, 完成该交流电压表的设计(注意: 要标出图中电阻的阻值), 并连接好电路.

注意: 电路连接完毕应举手示意, 请求监考教师检查, 在得到允许后才能接通电源开关.

三、测量重力加速度

[仪器用具] 柱形弹簧(质量可忽略) 1 条, 焦利氏秤 1 套(附

仪器说明); 钩码若干, 电脑计时器 1 套(附仪器说明); 剪刀 1 把, 不干胶、透明粘胶若干.

[要求] 用上述提供的仪器和用具测量重力加速度.

1. 写出实验原理和步骤.
2. 进行必要的测量, 记录数据, 计算出重力加速度的测量值 $g_{\text{测}}$.
3. 将测量值 $g_{\text{测}}$ 与本地重力加速度的公认值 $g = 9.788 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 比较, 计算 $g_{\text{测}}$ 的相对误差.

海南省

一、小灯泡非线性伏安特性的研究

[仪器用具] 直流稳压电源, 电流表(用数字万用表代替), 开关, 电阻箱, 钨丝灯泡($6.3 \text{ V}, 0.15 \text{ A}$), 导线若干.

[要求]

1. 画出测量电路图.
2. 根据测量数据画小灯泡的伏安特性曲线.
3. 当通过小灯泡的电流 I 不太大时, 小灯泡的端电压 U 与 I 满足公式 $U = kI^n$ (k, n 为常数), 请用作图法求出 k 和 n 的值(由于时间关系, 测 k, n 时, 电流在 $65 \sim 130 \text{ mA}$ 范围内取 6 个值就行了).

[说明] 本实验灯泡的电阻 $R_{\text{灯}} \ll R_V$ (R_V 为电压表内阻).

二、弹簧劲度系数 κ 的测定

[仪器用具] 待测弹簧 1 根, 秒表, 米尺, 钩码若干(20.0 g 的 3 个, 10.0 g 的 2 个).

[要求]

1. 根据提供的器材分别用伸长法和振动法测 κ .

12. 根据测量结果,分析每种测量方法产生误差的主要原因,并通过比较相对误差大小来说明哪种实验方法更佳! (κ 的理论值为 5.0 N/m)

[说明]

1. 弹簧的质量不计,空气阻力不计.
2. 伸长法要求用分组逐差法处理数据,由于时间关系,振动法测 κ 只需测两组数据取平均值就行了.(即振子质量 m 取 70.0 g 和 80.0 g 两组来测)

三、笔试题

1. $789.30 \times 50 \div 0.100 = \underline{\hspace{2cm}}$.

2. $10.1 \div 4.178 = \underline{\hspace{2cm}}$.

3. $225^2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

4. 下列测量结果正确的表达式是()

A. $L = (23.68 \pm 0.009) \text{ m}$

B. $I = (4.09 \pm 0.10) \text{ mA}$

C. $T = (12.56 \pm 0.01) \text{ s}$

D. $p = (1.67 \pm 0.5) \times 10^{11} \text{ Pa}$

5. 在杨氏模量实验中,若望远镜的叉丝不清楚,应调节望远镜_____的焦距,若观察到的标尺像不清楚则应调节望远镜_____的焦距. 钢丝的伸长量用_____方法来测定.

6. 用分光仪测得一角度为 30° , 分光仪的最小分度为 $1'$, 测量的结果为_____.

7. 做薄透镜焦距测量的实验时,首先要进行_____调节,这是因为薄透镜成像公式在_____的条件下才能成立.

8. 在牛顿环实验中,我们看到的干涉条纹是由哪两条光线

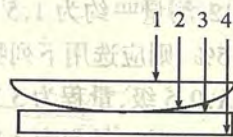
产生的?()

A. 1 和 2

B. 2 和 3

C. 3 和 4

D. 1 和 4



9. 在电势差计的实验中,校正工作电流时平衡指示仪的指针始终偏向一边,可能的原因是()

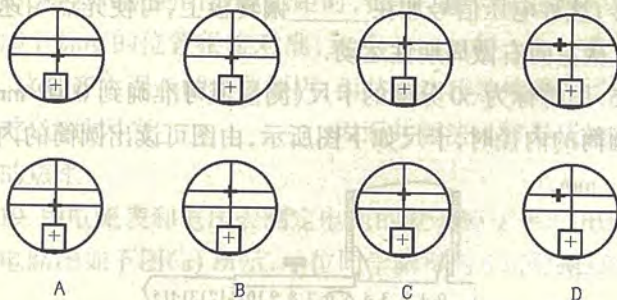
A. 没开工作电源

B. 接标准电源的导线不通

C. 平衡指示仪的导线极性接反

D. 工作电源电压偏高或偏低

10. 用自准直法调整分光仪的望远镜工作状态时,若从望远镜的视场中所看到的三棱镜的两个面的反射十字像如下图所示,其中表明望远镜的工作状态已经明显调好的是()



11. 下列几个测量结果中,测量准确度最低的是()

A. $L_1 = (154.98 \pm 0.02) \text{ cm}$

B. $L_2 = (5.498 \pm 0.002) \text{ cm}$

C. $L_3 = (1.5498 \pm 0.0002) \text{ cm}$

D. $L_4 = (2.214 \pm 0.001) \text{ cm}$

12. 测量一约为 1.5 V 的电压时要求其结果的相对误差小于 1.5%, 则应选用下列哪一种规格的电压表()

A. 0.5 级, 量程为 5 V

B. 1.0 级, 量程为 2 V

C. 2.5 级, 量程为 1.5 V

D. 0.5 级, 量程为 3 V

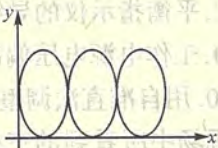
13. 在下面的李萨如图中, 如果在 x 轴方向信号的频率是 100 Hz, 那么在 y 轴方向信号的频率是()

A. 100 Hz

B. 33 Hz

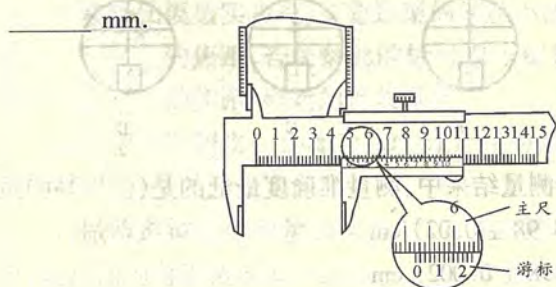
C. 300 Hz

D. 200 Hz



14. 在示波器内部, 同步、扫描系统的功能是获得_____电压信号, 这种电压信号加在_____偏转板上, 可使光点匀速地沿 x 方向从左向右做周期性运动。

15. 用游标为 50 分度的卡尺(测量值可准确到 0.02 mm) 测定其圆筒的内径时, 卡尺如下图所示, 由图可读出圆筒的内径为_____ mm.



16. 用螺旋测微器测量一矩形小零件的长和宽时, 螺旋测微器上的示数如下图所示. 图(a) 的读数是_____ mm, 图(b) 的读数是_____ mm.



17. 使用一架不等臂天平称量某一物体质量时, 物体放于左盘时称出结果为 m_1 , 物体放在右盘时称出结果为 m_2 , 此物体的质量为()

A. $(m_1 + m_2)/2$

B. $m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$

C. $\sqrt{m_1 m_2}$

D. $\sqrt{(m_1^2 + m_2^2)/2}$

18. 用公式法测凸透镜焦距时, 因物、像和镜的实际位置与光具座上标度的位置很难对准, 致使_____和_____往往测量不准, 这是产生误差的主要原因. 而共轭法巧妙地避开了这种测量误差, 这是因为_____ , 因而共轭法可较准确地测量凸透镜的焦距。

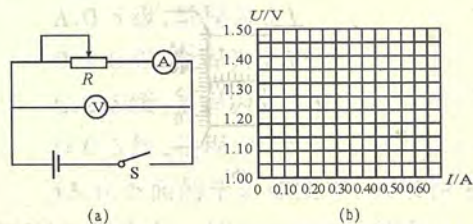
19. 用电流表和电压表测定电池的电动势 E 和内电阻 r , 所用的电路图如下图(a) 所示. 一位同学测得的 6 组数据如表中所示.

(1) 试根据这些数据在图(b) 中作出 $U - I$ 图线.

(2) 根据图线得出电池的电动势 $E =$ _____ V, 根据图线得出的电池内阻 $r =$ _____ Ω .

(3) 若不作出图线, 只选用其中两组 U 和 I 的数据, 可利用

公式 $E = U_1 + I_1 r$ 和 $E = U_2 + I_2 r$ 算出 E 和 r , 这样做可能得出误差很大的结果. 选用第 ___ 组和第 ___ 组的数据, 求得的 E 和 r 的误差最大.



组别	I/A	U/V
1	0.12	1.37
2	0.20	1.32
3	0.31	1.24
4	0.32	1.18
5	0.50	1.10
6	0.57	1.05

四川省

一、测量压电蜂鸣器阻抗随频率变化曲线, 分析压电蜂鸣器的等效电路; 用压电蜂鸣器测量声速.

[仪器用具] 双踪示波器, 信号发生器, 无感电阻箱, 压电蜂鸣器(2个), 票据夹(2个), 塑料直尺.

[要求]

1. 在频率为 $1.5 \sim 4.5$ kHz 的范围内, 画出蜂鸣器阻抗随频率变化曲线, 并画出测量电路, 写出阻抗计算等式.
2. 画出压电蜂鸣器的等效电路, 并简要说明实验依据.
3. 画出测量声速的电路, 简要说明测量的方法和步骤, 并给出声波的波长、频率和声速.
4. 列表给出原始测量数据.

[说明]

1. 示波器和信号源是共地的, 接线要注意避免损坏信号源.
2. 无感电阻箱阻值取 $200 \sim 300 \Omega$.

3. 信号源的输出电压, 峰-峰值不必超过 10 V.

4. 用票据夹夹住压电蜂鸣器的边缘.

二、测量电阻 R_x 的阻值

[仪器用具] 电压表, 稳压电源, 电阻箱, 稳压二极管, 待测电阻 R_x .

[要求]

1. 画出实验电路.
2. 写出实验方法.

[说明]

不能将稳压二极管直接接入稳压电源的正负极之间.

三、光学实验常用的高压汞灯在可见光范围内有黄、绿、蓝、紫等光谱成份, 其中绿光和蓝光谱线的强度最大. 现已知绿光谱线的波长为 546.1 nm, 请用下列仪器测量出蓝光谱线的波长.

[仪器用具] 分光计, 光栅, 双面平面反射镜, 高压汞灯.

[要求]

1. 画出光路示意图, 写出测量公式.
2. 调节分光计、放置光栅, 使之处于测量状态.
3. 列出原始数据的记录表格, 测量并记录相关数据.
4. 根据测量数据计算高压汞灯蓝光谱线的波长.
5. 将测量结果与已知值 $\lambda_0 = 435.8$ nm 相比较, 计算测量结果的百分偏差.

[说明]

1. 分光计的粗调在考试前已由老师调好.
2. 实验所用光栅可以观察到 ± 3 级以下衍射, 实际测量时只需利用其中的 ± 1 级衍射.

· 参考解答 ·

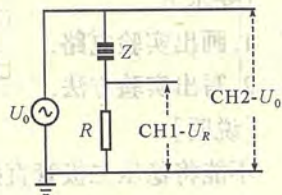
一、

画出阻抗测量电路,接线正确,计算等式

$$Z \approx \frac{U_0 - U_R}{\frac{U_R}{R}}$$

蜂鸣器低“电位端”与电阻箱“高电位端”连接,蜂鸣器“高电位端”与信号源“高电位端”连接,电阻箱“低电位端”与信号源“地端”连接,双踪示波器分别测量电阻箱

上电压和信号源端电压,双踪示波器两个通道的“地端”均与信号源“地端”连接;蜂鸣器阻抗近似等于信号源端电压减电阻箱上电压,再除以电阻箱上电压与电阻值之比(如图)。



贵州省

一、现有形状不规则、长度不等的3段石蜡柱,长的一段是纯石蜡,另外两段中含有材质和体积相同的钢球.已知短的一段中含有2粒钢球,测量并计算另一段中含有几粒钢球.

[仪器用具] 物理天平,待测石蜡柱3段,烧杯,尼龙细线,纯水($\rho_0 = 1.00 \text{ g/cm}^3$).

[要求]

1. 写出测量公式.
2. 正确操作物理天平.
3. 写出测量步骤.

4. 测量数据(只做1次测量).

5. 计算出结果.

二、黑箱中有两个元件串联的支路,支路的两端和两元件的连接点分别接到接线柱 A、B、C 上.这两个元件可能是电源、电阻、二极管、电容.

1. 判断黑箱中的元件及与接线柱 A、B、C 的连接电路.

2. 测量元件的参数(电压值、电阻值、电容量、二极管的开启电压).

[仪器用具] 黑箱, MF - 47 型万用电表(使用的频率范围小于 65 Hz), 示波器(附使用说明书, 重点部分为黑体字), 信号发生器(输出 1 000 Hz 正弦电压, 峰 - 谷值 $V_{p-p} = 14 \text{ V}$, 频率给定, 电压值自己调节. 附有操作说明书).

[要求]

1. 正确选择仪器.
2. 导出测量公式.
3. 测量数据(只做1次测量).
4. 计算出结果.

三、在一塑料杯底部放有一块厚度很薄的平面反射镜, 杯中装有某种液体, 杯的上方某一高度处横放 1 支铅笔.

1. 测量杯中液体的折射率.
2. 测量从铅笔正上方观察到的平面镜中笔尖虚像与铅笔尖的距离.

[仪器用具] 读数显微镜(竖立方向标尺在镜筒右边), 米尺, 待测液体, 塑料杯, 底面有反射镜塑料杯(已装有液体), 有字的纸屑, 铅笔及支架.

[要求]

1. 画出光路图。

2. 导出测量公式(忽略平面镜厚度的影响)。

(提示:角度很小时 $\sin\alpha \approx \tan\alpha$)

注意:读数显微镜的物镜不允许触到液体。

云南省

一、测量厚纸片的密度

[仪器用具] 千分尺 1 把,物理天平 1 台,坐标纸,剪刀 1 把,厚纸片 1 张。

[要求]

1. 用以上仪器用具测出不规则厚纸片的密度,结果至少有 3 位有效数字.不得裁剪和改变厚纸片的形状。

2. 简述试验原理、测量步骤。

3. 正确测量出有关参量,计算出厚纸片的密度。

二、改装欧姆表

[仪器用具] 直流微安表(量程和内阻已知)1 只,可变电阻箱 3 个,开关 1 个,干电池(1.5 V)1 节,导线若干。

[要求]

1. 设计 1 只中值电阻为 $2400\ \Omega$ 的欧姆表,画出改装测量欧姆表的电路图,标出电路中各电阻的阻值。

2. 测出改装后欧姆表的内阻。

3. 对所改装的欧姆表进行调试和校正;写出校正实验步骤;给出电路图中各相应电阻的阻值。

4. 标出改装电表表面 $\frac{2}{5}$ 、 $\frac{3}{5}$ 刻度处的阻值。

5. 接好线路并使各元器件处于安全位置,请监考教师检查后,方可通电实验。

三、在分光仪上,用光栅测定未知光波波长(已知汞灯绿线的波长是 $\lambda = 546.07\ \text{nm}$)

[仪器用具] 分光仪,汞灯,光栅。

[要求]

1. 利用给定的仪器和光学元件,画出测量光路图。

2. 写出测量方法和公式。

3. 要求测量出 3 条不同波长谱线的未知光波波长。

4. 列表记录实验数据。

5. 每个相应的物理量测定 3 次,计算出未知光波波长。

[注] 部分内容如要求提示则扣除该项得分。

陕西省

一、通过实验总结单摆周期的规律

[仪器用具] 单摆,米尺,游标卡尺,秒表,坐标纸。

[要求]

1. 简述实验满足的条件及主要实验步骤。

2. 总结出单摆周期规律(用作图法处理数据,测量数据不少于 6 组)。

3. 用总结的单摆周期公式求出西安地区的重力加速度,并与理论公式所求出的值进行分析比较。

二、设计并制作热敏电阻温度计

[仪器用具] 直流稳压电源 1 台,可变电阻箱 2 个,定值电阻 2 个,微安表头 1 只,热敏电阻 1 只,开关 1 只,导线若干,电热杯

1只,温度计2只,铁架台1个,热水和室温水若干,装有变压器油的试管1只.

[要求]

1.用所给仪器用具,设计并组装热敏电阻温度计装置(测量温度范围为 $30^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$),画出其电路原理图.

2.确定并记录两个电阻箱的阻值,将微安表头每10分度刻度标示为温度示数.

3.根据热敏电阻的特性,对标示过程中观测到的现象或问题做简要解释说明.

[说明]

1.电源电压已固定为5V左右,勿调.

2.电路连接好后,经监考老师许可,方可通电.

三、测量材料的折射率

[仪器用具]分光计,钠光灯,平面反射镜,待测三棱镜.

[要求]

1.简述用最小偏向角法测量三棱镜折射率的实验原理,画出光路图,并写出测量公式.

2.简述测量三棱镜顶角和最小偏向角的方法.

3.测量并记录实验数据,得出实验结果.

四、测定康铜丝的长度

[仪器用具]物理天平1台,直流稳压电源1台,ZX21型电阻箱1个,ZX36型电阻箱1个(保护检流计用),检流计1个,定值电阻2个,单刀开关1个,烧杯1个,蒸馏水,导线若干,待测康铜丝(电阻率为 $\rho = 5.0 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$).

[要求]

1.导出测量公式.

2.画出相关电路图.

3.记录测量数据,并求出结果.

[说明]

1.电源电压已固定为5V左右,勿调.

2.检流计只作为示零器使用.

3.电路连接好后,经监考老师许可,方可通电.

甘肃省

一、电阻的测量

[仪器用具]甲电池,四位电阻箱,3个待测电阻,检流计,保护电阻,导线.

[要求]

1.通过测量3个待测电阻得出你的实验结果.

2.画出实验线路图并做必要的说明.

3.简述主要的实验步骤及测量方法.

二、冰的溶解热的测定

[仪器用具]量热器(铜制或铁制内筒及搅拌器),水银温度计,物理天平,计算器,冰块,热水,凉水,吸水纸等.

[要求]

1.写出实验原理.

2.正确使用物理天平进行称衡.

3.记录实验数据,并计算测量结果.

4.实验过程中系统与环境间存在热量传递,如何设法减小热量传递引起的系统误差?若取用100g高于环境温度 10°C 的

热水,投入多少冰比较合适?

[注] 环境温度(室温): 19°C

铜的比热容: $0.093 \text{ 卡}/(\text{克}\cdot^{\circ}\text{C})$

铁的比热容: $0.110 \text{ 卡}/(\text{克}\cdot^{\circ}\text{C})$

温度计热量交换可忽略

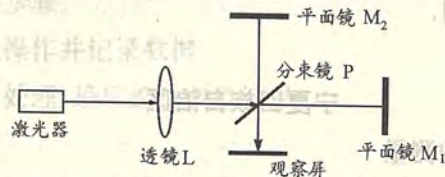
勿将冰块直接放在天平上

三、空气折射率的测量

光在介质中传播,光传播的路程 x 与所在介质折射率 n 的乘积,定义为光程 $L = nx$. 当光在多种介质中传播时,总的光程等于光所经过的介质的折射率与相应的路程的乘积之和

$$L = n_1x_1 + n_2x_2 + \dots + n_ix_i$$

如果两个点光源 S_1 、 S_2 在空间发生干涉,光程差 $\Delta L = k\lambda$ 的地方形成干涉的亮条纹,而光程差 $\Delta L = (2k+1)\lambda/2$ 的地方形成干涉的暗条纹(其中 λ 为光波波长, k 为干涉级数),在整个空间其等相位面将是一组旋转双曲面,转轴为两点光源 S_1 、 S_2 的连线. 在垂直两点光源连线的方向上,可以看到一组干涉直条纹,而在两点光源连线的方向上可以看到一组同心圆环,圆环中心对应干涉环的最大级数. 如果连续改变其中一条光路(如观察点 E 到光源 S_1) 的光程(通过改变介质的折射率或者是光通过的几何路程),即连续改变两路光的光程差,将会看到圆环中心有冒出或缩进圆环的现象,如果光程差 ΔL 改变量为 $N\lambda$,则会看到中心冒出或者缩进 N 个圆环. 利用这一原理可以测量本地大气折射率,利用下图可实现上述测量.



已知温度不变时气体折射率 n 与压强 p 有线性关系

$$n - 1 = Cp \quad (C \text{ 为常数}) \quad (1)$$

设压强为大气压 p_0 时折射率为 n_0 ,由上式有

$$\frac{p}{n-1} = \frac{p_0}{n_0-1} \quad (2)$$

若压强由 p 降到 p_0 ,则折射率由 n 降到 n_0 .

将长度为 D 的空气室放在其中一条光路里,压强从 p 变化到 p_0 引起光程差的变化,设干涉条纹的变化数为 N ,则得光程差变化为

$$2D(n - n_0) = N\lambda \quad (3)$$

由(2)与(3)式可得本地大气压强下空气折射率 n_0 的表达式

$$n_0 = 1 + N\lambda/2D(p/p_0 - 1) \quad (4)$$

[仪器用具] 激光器,干涉仪,透镜和观察屏.

[要求]

1. 根据实验室提供的条件,按照上述光路,进行必要的光路调节,完成上述实验测量,记录测量数据.

2. 已知本地大气压强 $p_0 = 634 \text{ mmHg}$,实验室所用激光波长为 632.8 nm ,空气室的长度 $D = 5 \text{ cm}$,试由测量结果计算 n_0 .

[注意] 给空气室加压时,请将气压表显示值控制在 $160 \sim$

200 mmHg 之间。

宁夏回族自治区

一、密度的测量

1. 不规则固体密度的测量

2. 液体密度的测量

[仪器用具] 物理天平, 烧杯, 量筒, 细线, 水, 待测固体, 待测液体。

[要求]

1. 学生自组装仪器设备, 并正确调节成可测量状态。
2. 根据所提供的仪器设备选定实验方法, 并写出测量公式及说明公式中各物理量的意义。
3. 使用正确的操作方法, 获取并记录实验数据。
4. 计算结果, 并做误差分析。

二、测量电容器的电容量

根据所给仪器和用具, 设计测量电容器电容量的实验并加以测量。

[仪器用具] 直流稳压电源 1 台, 滑线变阻器 1 个, 单刀双掷和单刀单掷开关各 1 个, 电压表 1 块, 数字万用表(作电流表用) 1 块, 电阻 1 个, 待测电容器(50 V、C 属待测) 1 个, 机械秒表 1 块, 导线若干, 曲线板 1 个, 坐标纸 1 张。

[要求]

1. 画出实验电路图。
2. 简要说明测量电容器电容量的实验原理(含计算公式)。

方法及实验步骤。

3. 实验操作并记录数据。

4. 数据处理, 最后给出测量结果。

[提示]

1. 线路接好后, 须经监考教师检查允许后, 方可通电实验。
2. 实验所采集数据不少于 20 组。
3. 实验操作过程中, 允许请监考教师提示, 但要适当扣分。

三、用落球法测液体的黏度

[要求]

1. 根据实验室所提供的仪器设备及参考资料, 测量求出待测液体的黏度 η , 并计算出修正后的黏度值。
2. 各待测物理量的测量需按参考资料中的要求及步骤进行。
3. 写出实验测量公式, 列表记录所测实验数据及计算过程。

青海省

一、测量不规则物体的密度

[仪器用具] 物理天平, 烧杯, 水, 待测物体。

[要求]

1. 简述测量原理, 推导出计算公式。
2. 调整物理天平, 使其正常工作。
3. 正确使用物理天平, 测量实验数据。
4. 计算待测物体的密度。

二、伏安法测电阻

[仪器用具] 直流稳压电源, 滑线变阻器, 电压表, 电流表, 待测电阻, 导线.

[要求]

1. 画出电路图.
2. 选择电表的量程, 连接线路.
3. 设计数据记录表格, 测 5 组实验数据.
4. 由所得数据作图求出待测电阻的阻值.

三、用成像法测量凹透镜焦距

[仪器用具] 物屏, 台灯, 凸透镜, 观察屏, 待测凹透镜.

[要求]

1. 画出成像原理光路图, 写出成像公式.
2. 设计数据记录表格, 测 3 组实验数据.
3. 由所得数据求出凹透镜的焦距.

新疆维吾尔自治区

一、利用所给仪器准确测量弯曲金属丝的长度

[仪器用具] 金属丝(不规则弯曲), 物理天平 1 台, 螺旋测微计 1 个, 烧杯 1 个, 细线 1 条.

[要求]

1. 简要写明测量原理以及测量步骤.
2. 写出测量数据以及计算过程.
3. 准确测量出金属丝的长度.

二、测定小灯泡的伏安特性

[仪器用具] 电源 1 台, $100 \mu\text{A}$ 表 1 块, 电流表 1 块, 电阻箱 2

个, 滑线变阻器 1 个, 待测 6.3 V 小灯泡 1 个, 单刀双掷开关 2 个, 导线若干.

[要求]

1. 利用现有仪器测定小灯泡的伏安特性.
2. 写出简单原理和实验步骤.
3. 绘制小灯泡的伏安特性曲线.

请注意仪表安全!

三、测未知元件

[仪器用具] 双踪示波器, 低频信号发生器.

[要求]

1. 用所给仪器鉴别出 A、B、C、D、E 端子间的电器元件, 并画出电路连接图.

(提示: 所测元件可能是电容、电阻、导线、电感和二极管).

2. 说明测试依据(测试时, 不能拆开黑箱子).

3. 已知 B、C 之间的电压为 $2\sqrt{2} \text{ V}$, C、D 之间的电压为 4 V , D、E 之间的电压为 3 V , 求 B、E 之间的电压为多少伏. 在计算时, 请画出必要的图形, 并附以说明.

四、用透镜成像法测单缝宽度

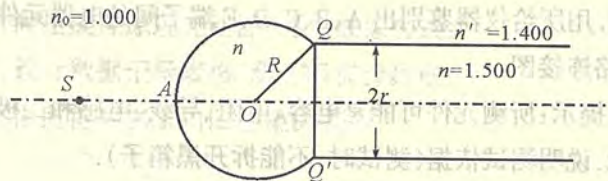
[仪器用具] 光具座, 测微目镜, 凸透镜, 单缝, 光屏, 钠光灯.

[要求]

1. 写出测量原理.
2. 写出测量步骤.
3. 记录原始数据(测 3 组数据) 并对结果进行分析.

· 理论试题 ·

一、有一光纤纤维,光芯为折射率 $n = 1.500$ 的透明度极好的介质,其截面半径为 r ;光芯外面包层的折射率 $n' = 1.400$. 有一半导体激光器 S , 位于光纤轴线的延长线上,发出半角宽为 30° 的光束. 为便于使此光束全部进入光纤,在光纤端面处烧结了一个其材料与光芯相同、半径为 R 的球冠 QAQ' , 端面附近的结构如图所示(包层未画出). S 可看作点光源,光纤放在空气中,空气的折射率 n_0 按 1.000 计算.



1. 若要半导体激光器发出的光能够全部射到球冠上,则光源 S 离 A 的距离 x 应满足什么条件?

2. 如果 $R = 1.8r$,光源 S 与 A 点的距离为 R ,入射线与轴的夹角用 α 表示,则 α 角分别为 $\alpha_1 = 30^\circ$ 、 $\alpha_2 = 25^\circ$ 和 $\alpha_3 = 20^\circ$ 的三根光线能否经过全反射在光纤中传播?

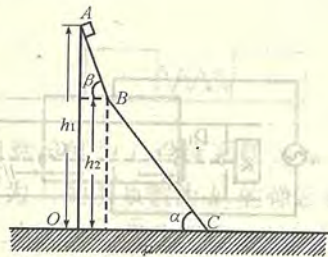
二、试从相对论能量和动量的角度分析论证:

1. 一个光子与真空中处于静止状态的自由电子碰撞时,光子的能量不可能完全被电子吸收.

2. 光子射到金属表面时,其能量有可能完全被吸收并使电子逸出金属表面,产生光电效应.

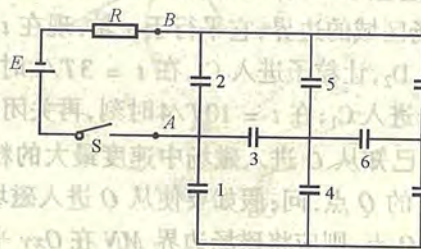
三、如图所示,一质量 $M = 30.0 \text{ kg}$ 的楔形木块 $OABC$ 静止

在水平地面上,其斜面 AB 段的倾角 $\beta = 60^\circ$, BC 段的倾角 $\alpha = 45^\circ$, AB 段与 BC 段连接处 (B 处) 为一非常短的光滑圆弧. 现将一质量为 $m = 4.00 \text{ kg}$ 的小物块(可视为质点),放在斜面上离地面

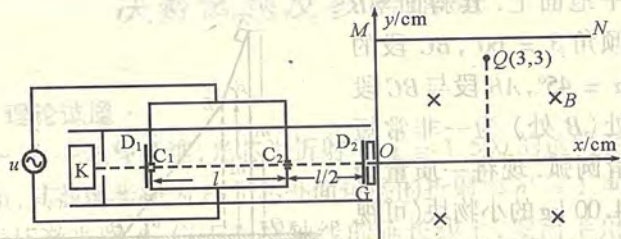


高为 $h_1 = 2.80 \text{ m}$ 的 A 处,然后放手,令小物块从静止开始沿斜面下滑. 已知小物块与斜面之间无摩擦,木块与地面间最大静摩擦因数和滑动摩擦因数皆为 $\mu = 6.00 \times 10^{-2}$, B 处离桌面高度 $h_2 = 2.00 \text{ m}$,如果不计小物块经过 B 处时小物块及木块速度大小的改变,求小物块从斜面上 A 处滑动到斜面底部 C 处整个过程中小物块对木块所做的功.(取重力加速度 $g = 10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)

四、由如图所示的电路,其中 E 为内阻可以忽略的电源电动势, R 为电阻的阻值; S 为开关; A 、 B 右边是由如图所标的 8 个完全相同容量均为 C 的理想电容器组成的电路. 问从合上 S 到各电容器充电完毕,电阻 R 上发热消耗的能量是多少?(在解题时,要求在图上标出你所设定的各个电容器极板上电荷的正负)



五、如图所示, K 为一带电粒子发生器,从中可以不断地射出各种不同速率的带电粒子,它们都带正电,电量为 q , 质量为



m , 速度的方向都沿图中的虚线. D_1 、 D_2 为两块挡板, 可定时开启和关闭. C_1 、 C_2 为两扇“门”, C_1 紧靠 D_1 , 两门之间的距离为 l , 两个门上都加上交变电压 $u = U_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$, T 为交变电压的周期. 已知只有当门上电压的值为零附近的无限短的时间内, 粒子才能通过该门. G 为能量增减器, 它紧靠挡板 D_2 , 到门 C_2 的距离为 $l/2$. 当带电粒子在 t 时刻通过 G 时, 粒子可获得一定的能量 $\Delta E_t = E_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \frac{\pi}{4}\right)$, 但速度的方向不变, 式中 $E_0 = \frac{\sqrt{2}}{4} \times m \frac{l^2}{T^2}$. 通过 G 的粒子从 O 点进入 G 右侧的匀强磁场区域, 磁场的磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里 (整个装置都放在真空中). 在磁场区建立以 O 作为原点的如图所示的直角坐标系 Oxy , MN 为磁场区域的边界, 它平行于 x 轴. 现在 $t = 0$ 的时刻, 同时打开 D_1 与 D_2 , 让粒子进入 C_1 , 在 $t = 3T/4$ 时刻, 关闭挡板 D_1 , 使粒子无法进入 C_1 ; 在 $t = 10T/4$ 时刻, 再关闭挡板 D_2 , 使粒子无法进入 G . 已知从 O 进入磁场中速度最大的粒子经过坐标为 $(3 \text{ cm}, 3 \text{ cm})$ 的 Q 点. 问: 假如要使从 O 进入磁场中速度最小的粒子能经过 Q 点, 则应将磁场边界 MN 在 Oxy 平面内平移到什么位置.

六、如图, a 、 b 、 c 、 d 是位于光滑水平桌面上的四个小物块, 它



们的质量均为 m . a 、 b 间有一自然长度为 l , 劲度系数为 k_1 的弹簧联结; c 、 d 之间有一自然长度为 l , 劲度系数为 k_2 的弹簧联结. 四个物块的中心在同一直线上. 如果 b 、 c 发生碰撞, 碰撞是完全弹性的, 且碰撞时间极短. 开始时, 两个弹簧都处在自然长度状态, 物块 c 、 d 静止, 物块 a 、 b 以相同的速度 v_0 向右运动, 试量论述

1. 若 $k_1 = k_2$, 四个物块相对于桌面怎样运动?
2. 若 $k_1 = 4k_2$, 四个物块相对于桌面怎样运动?

· 参考解答 ·

一、

1. 当发射光束刚好都能射到球面上时, 光束的边缘光线应与球面相切, 如图 1 所示, T 为切点, 由几何关系可知

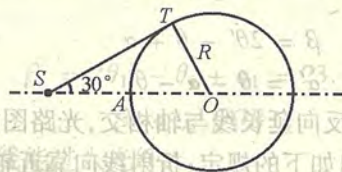


图 1

$$\sin 30^\circ = \frac{R}{SO}$$

由此求得

$$SA = R$$

若光源与 A 的距离大于 R , 则有部分光线不能到达球面. 全

部光束能射到球冠上的条件是光源与 A 点的距离

$$x \leq R \quad (1)$$

2. $x = R$ 时与轴成 α 角的人射光线的光路图如图 2 所示, 图中 B 点位于轴上, 用虚线画出的 QBQ' 与 QAQ' 构成一个球面. θ 和 θ' 分别表示入射角和折射角. 设折射线与球面交于 P' 点, 用 β 表示 OP' 与轴之间的夹角, 用 α' 表示折射线与轴之间的夹角.

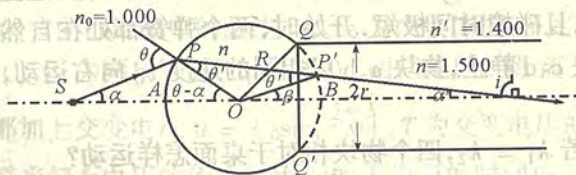


图 2

对 $\triangle OPS$, 由正弦定理可得

$$\frac{2R}{\sin\theta} = \frac{R}{\sin\alpha} \quad (2)$$

由折射定律得

$$\sin\theta = 1.5\sin\theta' \quad (3)$$

由几何关系得

$$\beta = 2\theta' - \theta + \alpha \quad (4)$$

$$\alpha' = \theta - \alpha - \theta' \quad (5)$$

如果折射线的反向延长线与轴相交, 光路图如图 3 所示. 若对 α' 的正负号作出如下的规定: 折射线向靠近轴的方向偏折

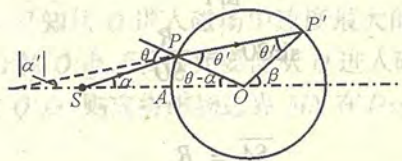


图 3

时, α' 取正值; 折射线向远离轴的方向偏折时 (即折射线的反向延长线与轴的交点在 A 点的左侧), α' 取负值, 则 (5) 式仍成立.

此外, 由几何关系可知, 折射线能进入光纤的条件是

$$|\beta| \leq \angle QOB \quad (6)$$

β 可能为负值, 这表示 P' 在轴线以下.

而 $\angle QOB = \arcsin \frac{r}{R}$

代入数据, 可知折射线能进入光纤的充要条件是

$$|\beta| \leq 33.75^\circ$$

下面分别讨论三条光线的情况.

(i) $\alpha_1 = 30^\circ$ 时

a. 此入射光线的折射线能否进入光纤?

由 (2) 式得 $\sin\theta_1 = 2\sin\alpha_1 = 1$, 得

$$\theta_1 = 90^\circ$$

代入 (3) 式得

$$\theta_1' = \arcsin\left(\frac{2}{3}\right) = 41.81^\circ$$

代入 (4) 式得

$$\beta_1 = 2\theta_1' - \theta_1 + \alpha_1 = 23.62^\circ \quad (7)$$

因为

$$\beta_1 < \angle QOB \quad (8)$$

故此折射线能进入光纤.

b. 此折射线能否在光芯包层的界面上发生全反射?

设光纤内光线射至光芯与包层界面时发生全反射的临界角为 i_c , 则

$$i_c = \arcsin\left(\frac{1.400}{1.500}\right) = 68.96^\circ \quad (9)$$

因为 $i = 90^\circ - \alpha'$, 所以当 α' 满足下面条件时折射线即能被全反

射：
 $\alpha' \leq 90^\circ - 68.96^\circ = 21.04^\circ$ (10)
 现在 $\alpha_1' = \theta_1 - \alpha_1 - \theta_1' = 18.19^\circ$, 满足(10)式的要求. 故该光线能经过全反射在光纤中传播.

(ii) $\alpha_2 = 25^\circ$ 时

$$\text{由(2)式得 } \sin\theta_2 = 2\sin\alpha_2 = 2\sin 25^\circ \quad \theta_2 = 57.70^\circ$$

$$\sin\theta_2' = \frac{1}{1.5}\sin\theta_2 = \theta_2' = 34.30^\circ$$

$$\beta_2 = 2\theta_2' - \theta_2 + \alpha_2 = 35.90^\circ \quad (11)$$

由(6)式可知, 该折射线不能进入 QQ' 右面的光纤.

(iii) $\alpha_3 = 20^\circ$ 时

$$\text{由(2)式得 } \sin\theta_3 = 2\sin\alpha_3 = 2\sin 20^\circ \quad \theta_3 = 43.16^\circ$$

$$\sin\theta_3' = \frac{1}{1.5}\sin\theta_3 \quad \theta_3' = 27.13^\circ$$

$$\beta_3 = 2\theta_3' - \theta_3 + \alpha_3 = 31.10^\circ \quad (12)$$

由(6)式可知, 此折射线能进入 QQ' 右面的光纤.

此时

$$\alpha_3' = \theta_3 - \alpha_3 + \theta_3' = -3.97^\circ \quad (13)$$

负号表示折射线的延长线与轴相交于 A 点的左方, 它射至光纤的上半部的界面下, 如图4所示, $|\alpha_3'| < 21.04^\circ$, 所以此光线可以经过全反射在光纤中传播.



图4

二、

1. 设电子处于静止状态时的质量为 m_0 , 光子的频率为 ν , 假定电子能完全吸收光子的能量, 吸收光子后, 电子以速度 v 运动, 则这一过程应遵循动量守恒定律, 有

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \quad (1)$$

碰撞后系统的总能量为

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} \quad (2)$$

由(1)、(2)式消去 v , 得

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + h^2 \nu^2} \quad (3)$$

碰撞前电子与光子的总能量为

$$E_0 = h\nu + m_0 c^2 \quad (4)$$

由(3)、(4)式

$$E^2 - E_0^2 = (m_0^2 c^4 + h^2 \nu^2) - (h\nu + m_0 c^2)^2 = -2h\nu m_0 c^2 \neq 0 \quad (5)$$

这表明, 所假设的过程不符合能量守恒定律, 因此这一过程实际上不可能发生.

2. 束缚在金属中的电子和射入金属的光子二者构成的系统在发生光电效应的过程中动量不守恒, 只需考虑能量转换问题. 设电子摆脱金属的束缚而逸出, 需要对它做功至少为 W (逸出功), 逸出金属表面后电子的速度为 v , 入射光子的能量为 $h\nu$, 电子的静止质量为 m_0 , 若能产生光电效应, 则有

$$h\nu \geq \left[\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (v^2/c^2)}} - m_0 c^2 \right] + W \quad (6)$$

逸出电子的速度 v 一般都比光速小很多, 故有

$$\frac{1}{\sqrt{1-(v^2/c^2)}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots \quad (7)$$

忽略高阶小量,只取(7)式中的前两项,代入(6)式,可得到

$$h\nu \geq \frac{1}{2} m_0 v^2 + W \quad (8)$$

可见,只要 $h\nu \geq W$, (8)式就能成立,光电效应就能产生.

三、为方便起见,我们先考虑小物块在斜面 BC 段上的运动,取 Oxy 坐标如图所示,令 a_x 、 a_y 分别表示小物块沿 x 方向和 y 方向加速度的大小, N 和 R 分别表示小物块与木块之间和木块与桌面之间的正压力的大小, a_M 表示木块的加速度的大小,小物块的运动方程为

$$ma_x = N \sin \alpha \quad (1)$$

$$ma_y = mg - N \cos \alpha \quad (2)$$

木块的运动方程

$$Ma_M = N \sin \alpha - \mu R \quad (3)$$

$$R = N \cos \alpha + Mg \quad (4)$$

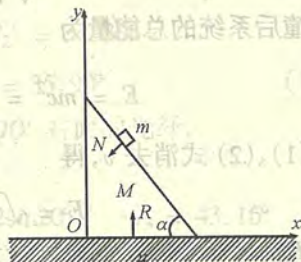
小物块约束在斜面上运动,有方程

$$\frac{a_x + a_M}{a_y} = \cot \alpha \quad (5)$$

由以上各式解得

$$N = \frac{(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) mg}{1 + (m/M) \sin^2 \alpha - \mu (m/M) \sin \alpha \cos \alpha} \quad (6)$$

此式对 AB 段同样成立,只需将 α 换成 β 即可. 现在我们必须来判别木块能否运动,判别的根据是方程(3). 若木块运动,则由(3)式和(4)式应有



$$a_M = \frac{1}{M} (N \sin \alpha - \mu N \cos \alpha - \mu Mg) > 0 \quad (7)$$

否则木块不动,小物块只做在静止的木块上的下滑运动.

当小物块在 BC 段上运动时, $\alpha = 45^\circ$, 由(6)、(7)两式,代入有关数据得

$$N = 28.2 \text{ N} \quad (8)$$

$$a_M = 2.50 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} > 0 \quad (9)$$

当小物块在 AB 段上运动时,上面(6)、(7)两式应用 $\beta = 60^\circ$ 代替 $\alpha = 45^\circ$, 用 N' 代替 N , 用 a_M' 代替 a_M , 由(6)、(7)两式,代入有关数据得

$$N' = 20.1 \text{ N} \quad (8')$$

$$a_M' = -3.90 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} < 0 \quad (9')$$

以上结果说明,小物块从 A 到 B 的过程中,木块没有移动;从 B 到 C 的过程中,木块是运动的. 所以,小物块对木块做的功为

$$W = N \sin \alpha \cdot s \quad (10)$$

s 为木块移动的距离,

$$s = \frac{1}{2} a_M t^2 \quad (11)$$

t 可以从小物块自 B 点到 C 点沿竖直方向的运动过程中求得,由(2)式及(8)式

$$a_y = g - \frac{N}{m} \cos \alpha = 5.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

由运动学公式

$$h_2 = v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (12)$$

v_{0y} 为小物块在刚过 B 点时的速度 v_0 沿竖直方向的分量, v_0 可从能量守恒求得,即

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = mg(h_1 - h_2) \quad (13)$$

所以 $v_0 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$$v_{0y} = v_0 \cos \alpha \quad (14)$$

将(14)式代入(12)式,解得

$$t = \frac{-v_{0y} \pm \sqrt{v_{0y}^2 + 2a_y h_2}}{a_y}$$

取正号,并代入数据,得

$$t = 0.492 \text{ s}$$

代入(11)式,并注意到(9)式得

$$s = \frac{1}{2} a_M t^2 = 3.01 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (15)$$

代入(10)式,得

$$W = N \cdot \sin \alpha \cdot s = 6.00 \times 10^{-2} \text{ J} \quad (16)$$

四、

A、B 右边 8 个电容器组成的电路(图 1)可视为一个等效电容 C_{AB} ,整个电路可简化为图 2.下面首先计算等效电容 C_{AB} .

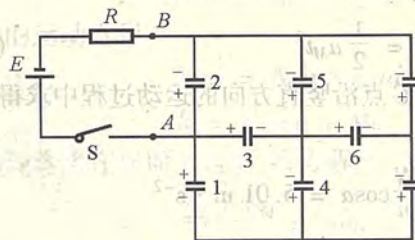


图 1

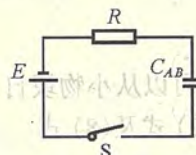


图 2

设合上 S 到充电完毕的过程中,从 A、B 两点充入 A、B 右边电路的电量为 Q ,A 正 B 负.设第 i 个电容器所充的电量为 q_i ,各电容器极板上电荷的正负如图 1 所示.

根据各节点的电荷守恒可列出下列 4 个独立方程:

$$q_1 + q_2 + q_3 = Q \quad (1)$$

$$-q_1 + q_4 + q_7 = 0 \quad (2)$$

$$-q_3 - q_4 + q_5 + q_6 = 0 \quad (3)$$

$$-q_6 - q_7 + q_8 = 0 \quad (4)$$

下面再列出回路电压方程,例如 $\frac{q_1}{C} + \frac{q_4}{C} - \frac{q_3}{C} = 0$ 等等,得

$$q_1 + q_4 - q_3 = 0 \quad (5)$$

$$q_4 + q_6 - q_7 = 0 \quad (6)$$

$$q_2 - q_3 - q_5 = 0 \quad (7)$$

$$q_5 - q_6 - q_8 = 0 \quad (8)$$

因电容 2 两端的电压与等效电容 C_{AB} 两端的电压都等于 E ,故有

$$E = \frac{q_2}{C} \quad (9)$$

$$E = \frac{Q}{C_{AB}} \quad (10)$$

由方程(1) ~ (8),可解得

$$q_2 = \frac{8}{15} Q \quad (11)$$

由(9)、(10)、(11)式,得

$$C_{AB} = \frac{15}{8} C \quad (12)$$

因在图 2 的电路中,在整个充电的过程中通过电路的电量为 Q ,故电源对外所做的功为

$$W_0 = EQ \quad (13)$$

等效电容器中的贮能

$$W_1 = \frac{1}{2} QE \quad (14)$$

根据能量守恒定律,电阻发热消耗的能量

$$W_2 = W_0 - W_1 \quad (15)$$

由以上有关各式,得

$$W_2 = \frac{15}{16} E^2 C \quad (16)$$

五、

1. 讨论进入磁场区域的粒子的速度

在 $t = 0$ 的时刻打开 D_1 , 由 $u = U_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ 可知, 此时 C_1 的电压 $u = 0$, 各种不同速率的粒子都能通过 C_1 . 如果通过 C_1 的粒子到达 C_2 的时刻为 $t = T/2$ 或 $T/2$ 的整数倍, 则此时 C_2 的电压恰好为零, 这些粒子又能通过 C_2 , 故通过 C_1 的粒子若能通过 C_2 , 其速度 v_n 应满足条件

$$\frac{l}{v_n} = n \frac{T}{2} \quad n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

由此可得在 $t = 0$ 时刻通过 C_1 后又能够通过 C_2 的这些粒子的速度为

$$v_n = \frac{2l}{nT} \quad n = 1, 2, \dots \quad (2)$$

速度为 v_n 的粒子由 C_1 到 C_2 经历时间

$$\Delta t_{n1} = \frac{1}{2} nT \quad (3)$$

由 C_2 到 G 经历的时间

$$\Delta t_{n2} = \frac{l}{2v_n} \quad (4)$$

由此可得粒子到 G 的时刻

$$t_n = \Delta t_{n1} + \Delta t_{n2} = \frac{3}{4} nT \quad (5)$$

因为当 $t = 10T/4$ 时, D_2 关闭, 故只有当

$$t_n \leq \frac{10}{4} T \quad (6)$$

粒子才能通过 G 并进入磁场区域, 根据(5)、(6)式, 注意到 n 为整数, 可知 n 的最大值为

$$n_{\max} = 3 \quad (7)$$

这些粒子进入磁场时的能量为

$$E_n = \frac{1}{2} m v_n^2 + E_0 \sin\left[\frac{2\pi}{T}\left(\frac{3n}{4}T\right) + \frac{\pi}{4}\right] \quad n = 1, 2, 3 \quad (8)$$

这些粒子的能量分别为

$$E_1 = \frac{7}{4} \frac{ml^2}{T^2} \quad E_2 = \frac{1}{4} \frac{ml^2}{T^2} \quad E_3 = \frac{17}{36} \frac{ml^2}{T^2} \quad (9)$$

在 $t = T/2$ 时刻 C_1 的电压 $u = 0$, 各种不同速率的粒子又能通过 C_1 . 对速率 v'_n 满足条件

$$\frac{l}{v'_n} = \frac{n}{2} T \quad n = 1, 2, \dots \quad (10)$$

的粒子又能通过 C_2 . 这些粒子的速率为

$$v'_n = \frac{2l}{nT} \quad n = 1, 2, \dots \quad (11)$$

由 C_1 到 C_2 经历的时间和由 C_2 到 G 经历的时间分别为

$$\Delta t_{n1}' = \frac{n}{2} T \quad \Delta t_{n2}' = \frac{n}{4} T \quad (12)$$

到达 G 的时刻

$$t_n' = \frac{T}{2} + \Delta t_{n1}' + \Delta t_{n2}' = \frac{3n+2}{4} T \quad (13)$$

因为在 $t = 10T/4$ 时 D_2 关闭, 故有

$$t_n' \leq \frac{10}{4} T \quad (14)$$

由(13)和(14)式, 注意到 n 为整数, 得

$$n_{\max} = 2 \quad (15)$$

这些粒子进入磁场时具有的能量为

$$E_n' = \frac{1}{2} m v_n'^2 + E_0 \sin\left[\left(\frac{2\pi}{T}\frac{3n+2}{4}\right)T + \frac{\pi}{4}\right] \quad n = 1, 2 \quad (16)$$

进入磁场的粒子的能量分别为

$$E_1' = \frac{9}{4} \frac{ml^2}{T^2} \quad E_2' = \frac{3}{4} \frac{ml^2}{T^2} \quad (17)$$

由于在 $t = 3T/4$ 时 D_1 已关闭,以后无粒子再能进入 C_1 . 由(9)、(17)式可知,进入磁场的粒子的能量的最大值为 E_1' ,对应的速度 V_1' 最大,由 $E_1' = \frac{1}{2}MV_1'^2$,得

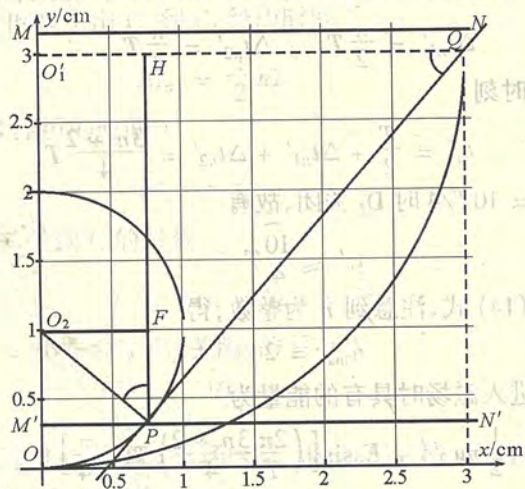
$$V_1' = \sqrt{\frac{9}{2}} \frac{l}{T} \quad (18)$$

进入磁场的粒子的能量的最小值为 E_2' ,对应的速度 V_2 最小,同理得

$$V_2 = \sqrt{\frac{1}{2}} \frac{l}{T} \quad (19)$$

2. 确定磁场边界

如图所示,在磁场区建立的直角坐标系中,已知从 O 进入



磁场速度最大的粒子经过坐标为(3 cm, 3 cm)的 Q 点,由(18)、(19)式知:进入磁场的粒子最大的速度 V_1' 是最小的速度 V_2 的3倍,此两粒子进入磁场后它们的圆轨迹半径 R_1' 和 R_2 ,有关系

$$R_1' = 3R_2$$

因速度为 V_1' 的粒子的圆轨道过坐标原点 O ,且与 x 轴相切,又过 Q 点,由此可求得

$$R_1' = 3 \text{ cm}$$

其圆心 O_1' 的坐标为(0 cm, 3 cm),故知速度最小粒子的圆轨道半径

$$R_2 = 1 \text{ cm}$$

O_2 应在坐标为(0 cm, 1 cm)处,其轨道圆方程为

$$x^2 + (y - 1)^2 = 1 \quad (20)$$

过 Q 点作此圆的切线,设切点 P 的坐标为 (x_p, y_p) ,若此粒子在 P 点以速度 V_2 进入无磁场区域,则它将沿直线 PQ 到达 Q 点. P 点一定在磁场区域的边界上.

现在求 P 点的坐标.因 O_2P 垂直于 PQ ,由 P 点作 $O_1'Q$ 的垂线交于 H 点,由 O_2 点作 PH 的垂线交于 F 点. $\triangle O_2PF$ 与 $\triangle PQH$ 相似,因而有

$$\frac{O_2F}{PF} = \frac{PH}{HQ} \quad (21)$$

即

$$\frac{x_p}{(1 - y_p)} = \frac{(3 - y_p)}{(3 - x_p)} \quad (22)$$

得 $x_p^2 + y_p^2 - 4y_p = 3x_p - 3$, 经配方得

$$x_p^2 + (y_p - 1)^2 - 2y_p - 1 = 3x_p - 3$$

因 P 点坐标 (x_p, y_p) 是满足(20)式,故得

$$-2y_p = 3x_p - 3 \quad (21)$$

$$y_p = \frac{3}{2}(1 - x_p) \quad (23)$$

代入(20)式,可求得 P 点的 y 坐标为

$$y_p = 0.354 \text{ cm} \quad (24)$$

因此,只要将磁场的区域边界 MN 平行下移到过 P 点,即图中的 $M'N'$,速度 V_2 的粒子在 P 点穿出磁场,它将沿轨迹圆的切线方向到达 Q 点.

六、

在 a 、 b 两物块向右运动的过程中, b 与 c 第一次相遇并发生碰撞,在碰撞的极短时间内,两根弹簧的长度都来不及发生变化,处在原长度状态,故 a 、 d 的运动未变化.由于 b 、 c 质量相等,碰撞是完全弹性的,故刚碰撞后, b 的速度为零, c 的速度为 v_0 ,方向向右.碰撞刚碰完时, a 的速度为 v_0 ,方向向右, b 的速度为零. a 与 b 构成的系统的质心 M_1 (位于弹簧的中点处)的速度为 $v_0/2$,方向向右; c 的速度为 v_0 ,方向向右, d 的速度为零. c 与 d 构成的系统的质心 M_2 (位于弹簧的中点处)的速度为 $v_0/2$,方向亦向右.

以 M_1 为坐标原点,建立跟随质心一起以 $v_0/2$ 的速度向右运动的坐标系,其 X' 轴与四物块中心的连线相重合(称此坐标系为质心坐标系),以 b 与 c 发生第一次碰撞的时刻作为时间的起点($t = 0$),则在此质心坐标系中,连结 a 、 b 的弹簧的中点是固定不动的, a 、 b 构成的系统可以看作是“弹簧一端固定,弹簧的自然长度为 $l/2$,劲度系数为 $2k_1$ 的弹簧振子”,同样, c 、 d 构成的系统亦可看成两个弹簧振子,弹簧的自然长度均为 $l/2$,劲度系数均为 $2k_2$.

若以 x'_a 、 x'_b 、 x'_c 、 x'_d 分别代表 a 、 b 、 c 、 d 各物块离开各自平

衡位置的位移,则有

$$x'_a = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$x'_b = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_2)$$

式中

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2k_1}{m}}$$

A_1 、 φ_1 、 φ_2 为待定常量.

$$x'_c = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_3)$$

$$x'_d = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_4)$$

式中

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2k_2}{m}}$$

A_2 、 φ_3 、 φ_4 为待定常量.

在 $t = 0$ 时刻,相对质心坐标系有

$$x'_{a0} = 0 \quad v'_{a0} = \frac{v_0}{2}$$

$$x'_{b0} = 0 \quad v'_{b0} = -\frac{v_0}{2}$$

$$x'_{c0} = 0 \quad v'_{c0} = \frac{v_0}{2}$$

$$x'_{d0} = 0 \quad v'_{d0} = -\frac{v_0}{2}$$

此为初始条件.

利用参考圆方法,可求得四个小物块相对质心坐标系的速度分别为

$$v'_a = -A_1 \omega_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$v'_b = -A_1 \omega_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_2)$$

$$v'_c = -A_2 \omega_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_3)$$

$$v'_d = -A_2 \omega_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_4)$$

由位移、速度的表示式和初始条件可求得

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{v_0}{2\omega_1} & \varphi_1 &= -\frac{\pi}{2} & \varphi_2 &= \frac{\pi}{2} \\ A_2 &= \frac{v_0}{2\omega_2} & \varphi_3 &= -\frac{\pi}{2} & \varphi_4 &= \frac{\pi}{2} \end{aligned} \quad (23)$$

由此可得

$$\left. \begin{aligned} x_a' &= \frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t \\ x_b' &= -\frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t \\ x_c' &= \frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t \\ x_d' &= -\frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} v_a' &= \frac{v_0}{2} \cos\omega_1 t \\ v_b' &= -\frac{v_0}{2} \cos\omega_1 t \\ v_c' &= \frac{v_0}{2} \cos\omega_2 t \\ v_d' &= -\frac{v_0}{2} \cos\omega_2 t \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

四物块在质心坐标系中的坐标分别为

$$X_a' = -\frac{l}{2} + \frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t$$

$$X_b' = \frac{l}{2} - \frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t$$

$$X_c' = \frac{l}{2} + \frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t$$

$$X_d' = \frac{3l}{2} - \frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t$$

(3)

建立相对桌面静止的坐标系,其原点与第一次碰撞刚碰完时 ab 系统的质心 M_1 重合, X 轴与 X' 轴重合,则相对桌面坐标系,四物块的坐标分别为

$$X_a = \frac{1}{2} v_0 t + \frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t - \frac{l}{2}$$

$$X_b = \frac{1}{2} v_0 t - \frac{v_0}{2\omega_1} \sin\omega_1 t + \frac{l}{2}$$

$$X_c = \frac{1}{2} v_0 t + \frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t + \frac{l}{2}$$

$$X_d = \frac{1}{2} v_0 t - \frac{v_0}{2\omega_2} \sin\omega_2 t + \frac{3l}{2}$$

(4)

相对桌面坐标系,各物块的速度

$$v_a = \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} \cos\omega_1 t$$

$$v_b = \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} \cos\omega_1 t$$

$$v_c = \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} \cos\omega_2 t$$

$$v_d = \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} \cos\omega_2 t$$

(5)

联立(5)由

1. $k_1 = k_2$ 时
 设两个弹簧的劲度系数都是 k , 则有

$$\omega_1 = \omega_2 = \sqrt{\frac{2k}{m}} = \omega_0 \quad (6)$$

第一次碰撞后 a、b、c、d 相对桌面坐标系的位置和速度可由(4)式与(5)式求得

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{1}{2} v_0 t + \frac{v_0}{2\omega_0} \sin \omega_0 t - \frac{l}{2} \\ X_b &= \frac{1}{2} v_0 t - \frac{v_0}{2\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{l}{2} \\ X_c &= \frac{1}{2} v_0 t + \frac{v_0}{2\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{l}{2} \\ X_d &= \frac{1}{2} v_0 t - \frac{v_0}{2\omega_0} \sin \omega_0 t + \frac{3l}{2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} \cos \omega_0 t \\ v_b &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} \cos \omega_0 t \\ v_c &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} \cos \omega_0 t \\ v_d &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} \cos \omega_0 t \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

如果在以后的运动中, b、c 又可能相遇, 即第二次相遇, 则应有

$$\left. \begin{aligned} X_b &= X_c \\ \sin \omega_0 t &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

t 不等于零的最小正数解满足

$$\omega_0 t = \pi \quad (10)$$

b、c 相遇时相对质心系的速度由(2)式、(9)式得

$$v_b'(\text{遇}) = \frac{v_0}{2}$$

$$v_c'(\text{遇}) = -\frac{v_0}{2}$$

b、c 相遇时, b 的速度向右, c 的速度向左, b、c 发生第二次碰撞, 刚碰后速度交换, 有

$$v_b'(\text{后}) = -\frac{v_0}{2}$$

$$v_c'(\text{后}) = \frac{v_0}{2}$$

b、c 第二次相遇时, a、b、c、d 四物块离开各自平衡位置的位移可由(10)式及(1)式求出, 即

$$\left. \begin{aligned} x_a' &= 0 \\ x_b' &= 0 \\ x_c' &= 0 \\ x_d' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

表示弹簧都处于自然状态, 无形变.

第二次碰撞刚碰完时, a、b、c、d 相对桌面坐标系的速度

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} = 0 \\ v_b &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} = 0 \\ v_c &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} = v_0 \\ v_d &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} = v_0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

即第二次碰撞刚碰完时, a、b 速度为零, 弹簧处在自然状态, 故以后 a、b 静止在各自的平衡位置; c、d 亦处在各自的平衡位置, 并以相同的速度 v_0 向右运动, 以后一直匀速运动下去, 不再振动, 也不会再发生碰撞.

$$2. k_1 = 4k_2 \text{ 时}$$

因 $k_1 = 4k_2$, 故有

$$\omega_1 = 2\omega_2 = \sqrt{\frac{2k_1}{m}} = \sqrt{\frac{8k_2}{m}} \quad (12)$$

第一次碰撞后, a、b、c、d 相对桌面坐标系的位置和速度由(4)式和(5)式可求得

$$\left. \begin{aligned} X_a &= \frac{1}{2}v_0t + \frac{v_0}{2\omega_1}\sin\omega_1t - \frac{l}{2} \\ X_b &= \frac{1}{2}v_0t - \frac{v_0}{2\omega_1}\sin\omega_1t + \frac{l}{2} \\ X_c &= \frac{1}{2}v_0t + \frac{v_0}{\omega_1}\sin\frac{\omega_1t}{2} + \frac{l}{2} \\ X_d &= \frac{1}{2}v_0t - \frac{v_0}{\omega_1}\sin\frac{\omega_1t}{2} + \frac{3l}{2} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2}\cos\omega_1t \\ v_b &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2}\cos\omega_1t \\ v_c &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2}\cos\frac{\omega_1t}{2} \\ v_d &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2}\cos\frac{\omega_1t}{2} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

如果在以后的运动过程中 b 与 c 会相遇, 则有

$$X_b = X_c$$

由(13)式有

$$-\frac{1}{2}\sin\omega_1t = \sin\left(\frac{\omega_1t}{2}\right)$$

$$\text{因 } \omega_1 = 2\omega_2, \text{ 得} \quad \sin\omega_2t(\cos\omega_2t + 1) = 0 \quad (15)$$

其解为

$$\omega_2t = n\pi = n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (16)$$

其中使 t 为异于零的最小正数解满足

$$\omega_2t = \pi \quad (17)$$

及

$$\omega_1t = 2\pi \quad (18)$$

b、c 相遇时相对质心系的速度由(2)式及(16)式得

$$v_b'(\text{遇}) = -\frac{v_0}{2}$$

$$v_c'(\text{遇}) = -\frac{v_0}{2}$$

因 b、c 相遇时, 速度的大小相等, 方向都向左, 表明 b、c 相遇而不发生碰撞, 即无第二次碰撞. 由(17)、(18)式及(1)式可求得 b、c 第二次相遇时, 四物块相对各自平衡位置的位移

$$x_a' = 0$$

$$x_b' = 0$$

$$x_c' = 0$$

$$x_d' = 0$$

即两个弹簧都处在自然长度. 这时四个物块相对于桌面参考系的速度分别为

$$\left. \begin{aligned} v_a &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} = v_0 \\ v_b &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} = 0 \\ v_c &= \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{2} = 0 \\ v_d &= \frac{v_0}{2} + \frac{v_0}{2} = v_0 \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

由于在此时 a 向右运动, 而 b 静止, 故弹簧将被压缩, b 加速, a 减速; 由于 c 静止, d 运动, 故弹簧将被拉长, c 加速, d 减速; 弹簧振子又开始振动。

由(16)式, 当

$$\begin{aligned} \omega_2 t &= 2\pi \\ \omega_1 t &= 4\pi \end{aligned}$$

b、c 两木块又相遇, 由(2)式可求得相遇时, b、c 相对质心坐标系的速度为

$$\begin{aligned} v_b'(\text{遇}) &= -\frac{v_0}{2} \\ v_c'(\text{遇}) &= \frac{v_0}{2} \end{aligned}$$

因相遇时, b 向左运动, c 向右运动, 速度大小相等, 故 b、c 相遇而不发生碰撞. 此时四物块相对于桌面坐标系的速度为

$$\left. \begin{aligned} v_a &= v_0 \\ v_b &= 0 \\ v_c &= v_0 \\ v_d &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

在随后的时间里, a、b 构成的系统的质心 M_1 以速度 $\frac{1}{2}v_0$ 向右做

匀速直线运动, a、b 相对于 M_1 做简谐振动, 振动的圆频率 ω_1 . c、d 构成的系统的质心 M_2 亦以速度 $\frac{1}{2}v_0$ 向右做匀速直线运动, c、d 相对于 M_2 做简谐振动, 振动的圆频率 ω_2 . b、c 两物块每隔 $\frac{\pi}{\omega_2}$ 的一段时间相遇一次, 但都是上述两种情况之一, 只相遇而不碰撞.

· 实验试题 ·

一、设计并组装模拟乘法和加法运算电路

[实验仪器]

0 ~ 36.0 V 可调稳压电源(自带开关 S_1)1 台,电阻箱 R_1 、 R_2 、 R_3 (均为:0 ~ 111 111.0 Ω 或 0 ~ 999 99.9 Ω 范围内可调)共 3 只,数字式电流表(自带开关 S_2 ,不能用作电流表,只能作为电流指零用,当电流计示数在 $\pm 0.2 \mu\text{A}$ 内变化时即可认为电流表指零.使用说明在仪器上)1 只,电位器(0 ~ 10 k Ω 可调)1 只,单刀双掷开关(S_3)1 个,导线若干.

[题目内容]

溶液的质量百分比浓度(简称浓度) a 定义为溶质的质量 m 与溶液的质量 M 之比,并可用百分数表示为: $a = (m/M) \times 100\%$. 请用给定的仪器和元件设计一个电路,用该电路中的有关电学量模拟溶液质量 M 和溶质质量 m (假定本试题中所提及的溶质皆为同种物质),通过电路设定浓度和有关参数,使该电路具备以下的计算功能:

1) 能够完成任意浓度溶液的溶质质量 $m_i = a_i M_i$ 的计算. 即对任意一种给定溶液的浓度值 a_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) 都可以通过电路调节来设定,当设定好某一浓度后可以通过模拟输入任意溶液质量 M_i ($i = 1, 2, 3, \dots$),再进一步调节电路,使电路中用于模拟溶质质量 m_i 的电学量满足关系: $m_i = a_i M_i$,即能够完成 $m_i = a_i M_i$ 的乘法计算.

2) 能够模拟任意两个溶质质量 m_1 与 m_2 以及求它们的和 m 的运算,即通过电路参数的设置和调节,使电路中分别用于模拟 m_1 、 m_2 、 m 的电学量满足关系: $m = m_1 + m_2$,即能够完成 $m = m_1 + m_2$ 的加法计算.

注意:① 在做具体数值的模拟运算时,以上被模拟的物理

量中,设定好的浓度值可以作为常量,其余数据的模拟要考虑到有效数字的位数.

② 在分别实现计算功能 1)、2) 的过程中,只能在同一电路中用有关的元件切换,而不能拆线后重新连接线路.

③ 最后评分以答卷为准.

[实验的具体要求]

1. 画出实验的电路图,标明各仪器元件的名称或代号(可以索要电路图提示卡,但本步骤分数“10分”将被全部扣掉).

2. 叙述实验的原理和详细的实验步骤.

3. 组装电路(电源电压建议调到 3 V 左右),用自己组装的电路完成下列模拟运算(不得使用计算器和笔算,如有违反,将被扣掉该步骤分数)并填写实验记录表格:

1) $a_1 = 58.7\%$, $M_1 = 9.470 \text{ kg}$,用电路模拟计算出溶质质量 $m_1 = a_1 M_1$ 的值.

2) $a_2 = 28.9\%$, $M_2 = 65.90 \text{ kg}$,用电路模拟计算出溶质质量 $m_2 = a_2 M_2$ 的值.

3) 模拟计算: $m = m_1 + m_2$ (模拟的 m_1 和 m_2 需模拟代入以上两步算出的数值).

二、光学实验

[实验题目] 研究光波的单缝夫琅禾费衍射实验

[仪器与用具]

光具座 1 台,钠光灯(钠光波长 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)1 台,读数显微镜 1 台,可调狭缝屏 2 个,三爪透镜夹 2 个,凸透镜 2 个(焦距 $f = 150.0 \text{ mm}$),测微目镜 1 个,白屏 1 个,台灯 1 个.

[实验名词及公式介绍]

1. 夫琅禾费衍射又称为平行光的衍射(见图 1).为使入射光是平行光,光源狭缝须置于透镜的前焦平面上,平行光垂直照

射狭缝平面,注意光源狭缝与屏支撑杆中心偏离 35.0 mm.要观察测量夫琅禾费衍射图样应在衍射狭缝出光端放置一凸透镜,在凸透镜后焦平面上就呈现单缝夫琅禾费衍射图样.要实现准确测量,测微目镜分划板应位于凸透镜($f = 150.0 \text{ mm}$)的后焦平面上,注:测微目镜分划板与支撑杆中心偏离了 25.0 mm.

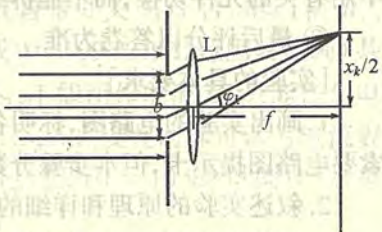


图1

2. 单缝夫琅禾费衍射图样暗纹满足公式 $b \sin \varphi_k = k\lambda$ ($k = \pm 1, \pm 2, \dots$). 其中 b 为狭缝宽度; k 为衍射级次数; φ_k 为第 k 级暗纹对应的衍射角(注:衍射角很小); λ 为光波波长.

[实验内容与要求]

1. 按所给仪器与用具组建单缝夫琅禾费衍射装置.

1) 在试卷上画出光路器件布置图.

2) 在光路器件布置图上从光源狭缝屏杆中心起用有效数字标出各元件支撑杆中心在光具座的位置坐标(考生可动用光路器件布置图提示卡,但本步骤中的 8 分将被扣去).

3) 写出组建装置的要求.

2. 从测微目镜中定性观察单缝衍射产生的亮暗条纹分布:

1) 仔细调节光路中各元件使衍射条纹亮暗对比度达到最佳.

2) 确认中央亮纹的位置,观察从中央亮纹算起的左、右两侧暗纹(级次分别用 $k = \pm 1, \pm 2, \dots$ 标记)的位置与暗纹间距,并说明相邻暗纹间距与中央亮纹宽度之间的关系.

3) 定性说明缝宽与相邻暗纹间距的关系.

3. 本实验提供的衍射狭缝缝宽是可调的,结合测量(非衍射测量)将缝宽分别调节到如下两个范围内:

- ① 0.300 ~ 0.309 mm; ② 0.200 ~ 0.209 mm.

分别在缝宽 ① 和缝宽 ② 两种情况下进行如下测量(用有效数字记录和处理数据):

1) 记录调节后的缝宽测量数据(非衍射测量).

2) 测量这两种缝宽下 $\pm 1, \pm 2, \pm 3$ 级衍射暗纹的位置坐标并列记录.

3) 用 $x_{+1}, x_{+2}, \dots, x_{+k}$ 依次表示中央明纹右侧各级暗纹的坐标;用 $x_{-1}, x_{-2}, \dots, x_{-k}$ 依次表示中央明纹左侧各级暗纹的坐标. $|x_{+1} - x_{-1}|$ 为中央明纹的宽度.

定义 $x_1 = |x_{+1} - x_{-1}|, x_2 = |x_{+2} - x_{-2}|, \dots, x_k = |x_{+k} - x_{-k}|$ 分别为第 1 级,第 2 级, \dots 第 k 级暗纹间距,由测得的数据求出 $\frac{x_1}{1}, \frac{x_2}{2}, \dots, \frac{x_k}{k}$ 并求平均值.

4) $|x_{+2} - x_{+1}|, |x_{+3} - x_{+2}|, \dots, |x_{+k} - x_{+(k-1)}|$ 分别为中央右侧(及左侧)相邻暗纹间距.用测得的数据计算相邻暗纹间距并求平均值.

5) 根据衍射测量数据和公式(见[实验名词及公式介绍])讨论并在试卷上回答:缝宽 b 与 $\frac{x_k}{k}$ 的关系, $\frac{x_k}{k}$ 与相邻暗纹间距的关系.

4. 根据以上单缝夫琅禾费衍射的实验结果设计一个温度传感器,画出草图并叙述其工作原理.

5. 实验成绩以试卷记录为准.

[仪器使用方法介绍]

1. 测微目镜:测微目镜是测量微小长度的常用光学器具.测

微目镜有固定分划板和活动分划板,两块分划板叠合起来其视场如图 2 所示. 固定分划板是测微目镜的主尺,其上有 9 条刻线,刻线间距是 1 mm;活动分划板刻有双丝和十字叉丝,由双丝的位置可读出十字叉丝交点的位置坐标. 活动分划板受测微螺旋(手轮)推动,能左右移动,其移动方向垂直于目镜的光轴,手轮每转 1 圈叉丝移动 1 mm,手轮上刻有 100 条等分的刻线,因此仪器的最小分度为



图 2

0.01 mm, 再按 1/10 估读可到 0.001 mm. 叉丝的位置坐标(读数)由两部分组成,毫米以上的部分从视场中读出,如图 2 给出毫米以上的读数为 4,毫米以下的部分从读数手轮上给出,假设为 0.125,那么叉丝位置坐标的最终读数为 4.125 mm.

2. 读数显微镜:读数显微镜是一种具有测量功能的显微镜,仪器最小分度为 0.01 mm. 测量时调节调焦手轮,当视场中的物体像清晰、分划板叉丝对准细小物体像边缘时就可以读数了,毫米以上的读数从标尺上读出,毫米以下的读数从手轮上读出,再进行 1/10 估读,这就是物体像边缘的坐标读数.

3. 为了使测量数据准确,测量中应避免回程误差(亦称空程误差). 方法是在测量同一组数据时读数手轮只能按一个方向转动,相应视场中叉丝也只向一个方向移动.

· 参考解答 ·

一、1. [实验电路图]

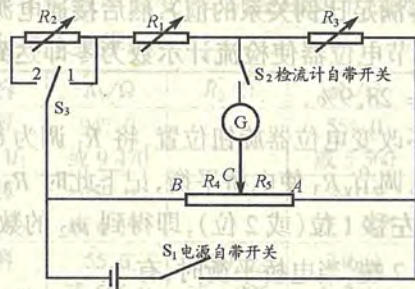
注意:电阻箱(R_1 、 R_2 、 R_3)及电位器 R_4 和 R_5 的位置标注不

一定按图排列,只要原理正确即可.

2. [实验原理及详细的实验步骤]

1) 断开所有开关,按图接线.

2) 将开关 S_3 接到 1 端,当电桥平衡时,有



$$R_1 R_5 = R_3 R_4 \quad \text{或} \quad R_3 = \frac{R_5}{R_4} R_1 = a R_1 \quad (1)$$

3) 只要使 $\frac{R_5}{R_4} = a$, 用 R_1 模拟 M , R_3 模拟 m , 即在 R_1 上设置 M 的值, 调节 R_3 使电桥平衡, 则直接从 R_3 的读数可得到 $m = aM$ 的模拟运算结果.

4) 由于从电位器上无法直接设定比值 $\frac{R_5}{R_4} = a$, 所以, 在模拟乘法运算 $m = aM$ 的过程中, 当计算 $m_1 = a_1 M_1 = 9.470 \times 58.7\% \text{ kg}$ 时:

① 可以设置 $R_1 = 1000 \Omega$, $R_3 = 587 \Omega$ (或 $R_1 = 100 \Omega$, $R_3 = 58.7 \Omega$ 等满足比例关系的值), 然后接通电源开关 S_1 和检流计开关 S_2 , 调节电位器使检流计示数为零即达到了电桥平衡, 则设置了 $a_1 = 58.7\%$.

② 断开 S_2 , 不改变电位器旋钮位置, 将 R_1 调为 947.0Ω (或 9470Ω), 接通 S_2 , 调节 R_3 使电桥平衡, 记下此时 R_3 的值, 则将

R_3 的数值的小数点左移 2 位,即得到 m_1 的数值(此结果在实验记录表格中给分).

5) 当计算 $m_2 = a_2 M_2 = 65.90 \times 28.9\% \text{ kg}$ 时:

① 先断开 S_2 , 设置 $R_1 = 1000 \Omega$, $R_3 = 289 \Omega$ (或 $R_1 = 100 \Omega$, $R_3 = 28.9 \Omega$ 等满足比例关系的值), 然后接通电源开关 S_1 和检流计开关 S_2 , 调节电位器使检流计示数为零即达到了电桥平衡, 则设置了 $a_2 = 28.9\%$.

② 断开 S_2 , 不改变电位器旋钮位置, 将 R_1 调为 659.0Ω (或 6590Ω), 接通 S_2 , 调节 R_3 使电桥平衡, 记下此时 R_3 的值, 则将 R_3 的数值的小数点左移 1 位(或 2 位), 即得到 m_2 的数值.

6) 将 S_3 接向 2 端, 当电桥平衡时, 有

$$\frac{R_1 + R_2}{R_4} = \frac{R_3}{R_5} \quad \text{或} \quad R_3 = \frac{R_5}{R_4} (R_1 + R_2) \quad (2)$$

若设置 $\frac{R_5}{R_4} = b = 1$, 则有 $R_3 = R_1 + R_2$ (3)

可以满足加法的条件.

7) 但是, 从电位器上无法直接设定比值 $\frac{R_5}{R_4} = 1$, 这时, 断开 S_2 , 设置 $R_3 = 1000 \Omega$, $R_1 = 1000 \Omega$, $R_2 = 0 \Omega$ (或 $R_3 = 1000 \Omega$, $R_1 = R_2 = 500 \Omega$ 或设置其他满足 $R_3 = R_1 + R_2$ 的电阻值皆可), 然后接通检流计开关 S_2 , 再调节电位器, 使电桥平衡, 则作模拟运算时就在电位器上设置了

$$\frac{R_3}{R_1 + R_2} = \frac{R_5}{R_4} = \frac{1000}{1000} = 1$$

8) 断开 S_2 , 不改变电位器位置, 将 R_1 和 R_2 设置成与已经模拟出的 m_1 和 m_2 对应的数值(Ω) 和 (Ω), 调节 R_3 使电桥平衡, 则此时 R_3 的读数(小数点左移 2 位), 即对应 m 的数值

(此结果在实验记录表格中给分).

9) 先断开电源, 再拆线整理仪器.

3. [实验记录表格]

在下列每空中数据(试作结果)大小可以有 $\pm 1\%$ 的误差, 但是有效数字位数不能变(特别是用到千欧姆档时, 只能记录到个位), 否则扣 0.5 分.

实验内容	R_1/Ω	R_2/Ω	R_3/Ω	模拟运算结果
实现计算 $m_1 = a_1 M_1$	947.0 或 9 470		556.0 或 5 560	$m_1 = 5.560 \text{ kg}$
实现计算 $m_2 = a_2 M_2$	659.0 或 6 590		190.5 或 1 905	$m_2 = 19.05 \text{ kg}$
实现计算 $m = m_1 + m_2$	55.6 或 556.0	190.5 或 1 905	246.1 或 2 461	$m = 24.61 \text{ kg}$

二、

1. 原理分析

单缝夫琅禾费衍射图形暗纹满足公式

$$b \sin \varphi_k = k\lambda \quad (k = \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1)$$

根据第 k 级暗纹间距的定义(参看图 1),

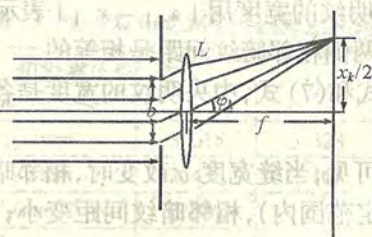


图 1

$$\tan \varphi_k = \frac{x_k/2}{f} \quad (2)$$

因 φ_k 很小,由(1)、(2)式得

$$b = \frac{2\lambda f}{x_k/k} \quad (3)$$

或 $\frac{x_k}{k} = \frac{2\lambda f}{b} \quad (4)$

由图可见,各 φ_k 很小时,两侧相邻暗纹间的间距

$$|x_{\pm k} - x_{\pm(k-1)}| = f |\varphi_{\pm k} - \varphi_{\pm(k-1)}| \quad (5)$$

由(1)式,得

$$|\varphi_{\pm k} - \varphi_{\pm(k-1)}| = \frac{\lambda}{b} \quad (6)$$

故相邻暗纹间距为

$$|x_{\pm k} - x_{\pm(k-1)}| = \frac{\lambda f}{b} \quad (7)$$

综上所述,在光源波长、透镜给定情况下,对于相同的衍射狭缝宽度,有如下结论:

1) 由(4)式表明,当缝宽一定时,衍射图样的第1级,第2级,第3级暗纹的间距除以级次数 $\frac{x_1}{1} = \frac{x_2}{2} = \frac{x_3}{3} = \dots$ 是一个常数.第1级暗纹的间距 $\frac{x_1}{1}$,即是中央明纹的宽度.

2) 除了中央明纹的宽度用 $|x_{+1} - x_{-1}|$ 表示以外,用(7)式表示的中央明纹两侧相邻暗纹间距是相等的.

3) 比较(4)式和(7)式,中央明纹的宽度是各相邻暗纹间距的2倍.

4) 由(7)式可见,当缝宽度 b 改变时,相邻暗纹间距随之改变. b 变大时(一定范围内),相邻暗纹间距变小; b 变小,相邻暗纹间距变大.由(4)式可见,第 k 级暗纹间距亦随 b 改变.例如 b 变小时,第 k 级暗纹间距随之变大.设 x_k' 和 x_k'' 分别表示变化前后的各级暗纹间距,则有 $x_k'' > x_k'$.

2. 光学器件布置图

1) 夫琅禾费衍射亦称平行光的衍射,因此注意以下两点才能获得正确结果:

① 由于衍射狭缝刀口面偏离狭缝支撑杆中心 35.0 mm,因此图中狭缝支撑杆到透镜 L_1 的距离为 $(150.0 - 35.0) \text{ mm} = 115.0 \text{ mm}$.

② 由于测微目镜分划板偏离测微目镜支撑杆中心 25.0 mm,因此图中测微目镜支撑杆到透镜 L_2 的距离为 $(150.0 - 25.0) \text{ mm} = 125.0 \text{ mm}$.

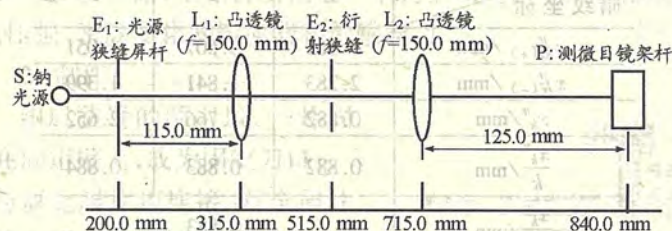


图2

2) 装置中各元件等高共轴.

3. 测量

缝宽 $b' = 0.300 \text{ mm}$ 时衍射暗纹数据记录表

衍射级次数	1	2	3
暗纹坐标			
$x_{右(+)} / \text{mm}$	3.015	3.328	3.651
$x_{左(-)} / \text{mm}$	2.433	2.168	1.908
x_k' / mm	0.582	1.160	1.743
$\frac{x_k'}{k} / \text{mm}$	0.582	0.580	0.581
$\frac{x_k''}{k} / \text{mm}$	0.581		

$$b_1 = \frac{2 \times 5.893 \times 10^{-4} \times 150.0}{0.581} \text{ mm} = 0.304 \text{ mm}$$

缝宽 $b' = 0.300 \text{ mm}$ 时测衍射相邻暗纹间距的数据记录表

$ x_{+3} - x_{+2} $ /mm	$ x_{+2} - x_{+1} $ /mm	$ x_{-3} - x_{-2} $ /mm	$ x_{-2} - x_{-1} $ /mm	平均值
0.323	0.313	0.260	0.265	0.290

缝宽 $b'' = 0.200 \text{ mm}$ 时衍射暗纹数据记录表

衍射级次数 暗纹坐标	1	2	3
$x_{右(+)}''$ /mm	3.165	3.607	4.051
$x_{左(-)}''$ /mm	2.283	1.841	1.399
x_k'' /mm	0.882	1.766	2.652
$\frac{x_k''}{k}$ /mm	0.882	0.883	0.884
$\frac{x_k''}{k}$ /mm	0.883		

$$b_2 = \frac{2 \times 5.893 \times 10^{-4} \times 150.0}{0.883} \text{ mm} = 0.200 \text{ mm}$$

缝宽 $b'' = 0.200 \text{ mm}$ 时测衍射相邻暗纹间距的数据记录表

$ x_{+3} - x_{+2} $ /mm	$ x_{+2} - x_{+1} $ /mm	$ x_{-3} - x_{-2} $ /mm	$ x_{-2} - x_{-1} $ /mm	平均值
0.444	0.442	0.442	0.442	0.442

由测量数据可知:

- 1) 狭缝宽度一定时,各 x_k/k 近似相等.
- 2) 左(或右)侧相邻衍射暗纹间距近似相等.
- 3) 中央明纹的宽度等于两侧相邻衍射暗纹间距的 2 倍.
- 4) 狭缝宽度变窄时,中央明纹的宽度和其两侧的相邻衍射暗纹的间距变大(衍射现象更显著),此间距由光路参数和衍射

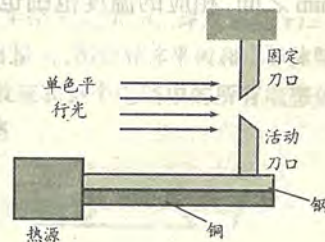
狭缝宽度决定,即 $\left(\frac{x_k}{2k}\right) = \frac{\lambda f}{b}$.

4. 传感器设计(仅供参考)

1) 基于狭缝宽度与衍射暗条纹间距之间的确定关系,如果将待测热源与狭缝相联系,用待测热源温度的变化来改变狭缝的大小,这样温度的变化就和衍射图样相邻暗纹间距(中央明纹两侧的 ± 1 级暗纹间距除外)的变化联系起来。(注:以 CCD 将衍射图样变为相应的电信号,经 A/D 转换,就可用计算机进行计算、处理、存储,工业自动化生产中就常以此模型制作温度、压力、压强、密度变化的转换器和传感器.)

2) 制作

组成狭缝的两刀口,一片固定在固定壁上,成为固定刀口;一片与双金属片相连接.双金属片上片采用钢铁,下片采用铜材(也可反之),双金属片与热源相连接.铜的垫片膨胀系数大,钢的垫片膨胀系数相对较小,当双金属片受热后,铜片上翘,狭缝宽度变小,衍射图样条纹间距变宽.



3) 定标(对学生不作要求)

在某一固定温度(例如 0°C , 或 20°C) 下,将铜、钢金属片平整连接,调节缝宽,确定相应的衍射条纹间距等参数,以此为温度的基准.(现代工业自动化仪器是将此数据输入计算机进行处理,确定其他温度点.)

4) 量程与精度(此内容仅供审题者参考,对考生不作要求)由(3) 式得

$$\Delta\left(\frac{x_k}{2k}\right) = -\frac{\lambda f}{b^2} \Delta b \quad (8)$$

取 $\lambda = 5.893 \times 10^{-4} \text{ mm}$, $f = 150 \text{ mm}$, $b = 0.100 \text{ mm}$, 得

$$\Delta\left(\frac{x_k}{2k}\right) \approx -10\Delta b \quad (9)$$

可见衍射的光学放大使缝宽的变化放大了数量级, 因此本测量方法可获得较高精度。

在条件许可下增大透镜焦距 f , 如 $f = 400 \text{ mm}$, 也可增大放大倍数, 但 f 的增大是有限的(仪器体积增大); 另外, 减小 b , 放大倍数会增加, 但 b 太小, 光能量太少, 不足以使 CCD 工作(使用激光束要好一些)。因此该传感器系统量程一般为 $0.01 \sim 0.2 \text{ mm}$ 之间, 相应的温度范围也不会很大。



平板电容器, 间距为 d 的静电作用力 F_p 。

(b) 如图 1.1(b) 所示, 将小导体圆片放置于电容器下板的中心, 小导体圆片上的电荷量 q 与两板间的电压 V 的关系为 $q = \chi V$, 求 χ 与 r, d, ϵ_0 之间的关系。

第 35 届国际物理奥林匹克竞赛

试题与解答

南京大学物理系 王思慧 周进 沈波 编译

· 理论试题与解答 ·

[题 1]

“乒乓”电阻

如图 1.1(a) 所示, 一个电容器由两片半径为 R , 相距为 d , 平行放置的圆形导体平板构成, $d \ll R$ 。上板与电压为 V 的恒压源相连, 下板接地。然后, 如图 1.1(b) 所示, 将一个很薄很小的导体圆片放置于电容器下板的中心。小导体圆片的质量为 m , 半径 $r (\ll R, d)$, 厚度 $t (\ll r)$ 。

假设电容器两板间为真空, 介电常量 ϵ_0 , 圆形导体平板和小导体圆片均为理想导体, 忽略所有静电边界效应和整个电路中的所有电感效应, 相对论效应和镜像电荷效应也忽略。

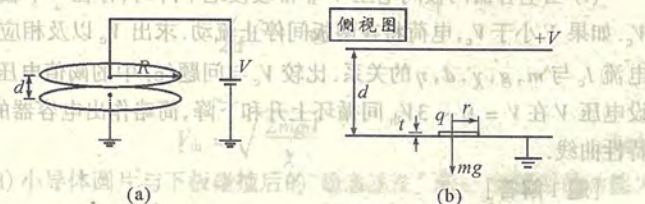


图 1.1 电容器电路结构示意图: (a) 与恒压源相连的平板电容器 (b) 插入了小导体圆片的平板电容器的侧视图。

(a) 未插入小导体圆片时, 计算如图 1.1(a) 所示的平板电容器两板间相距为 d 时的静电作用力 F_p 。

(b) 如图 1.1(b) 所示, 将小导体圆片放置于电容器下板的中心, 小导体圆片上的电荷量 q 与两板间的电压 V 的关系为 $q = \chi V$, 求 χ 与 r, d, ϵ_0 之间的关系。

(c) 平板电容器两板与均匀的重力场 g 垂直. 如要使位于下板中心的小导体圆片由静止开始向上运动, 必须加大两板间的电压 V 至一个阈值电压 V_{th} , 导出 V_{th} 与 m, g, d, χ 的关系.

(d) 如果 V 大于 V_{th} , 小导体圆片将在电容器两板间上下运动(假设小导体圆片只做垂直运动, 没有摇摆). 小导体圆片与导体平板间的碰撞是非弹性的, 恢复系数 $\eta = (v_{after}/v_{before})$, 这里 v_{before} 为碰撞前瞬间的速度, v_{after} 为碰撞后瞬间的速度. 导体平板在碰撞中保持不动. 小导体圆片碰撞后瞬间的速度接近一个“稳态速度” v_s . v_s 依赖于平板电容器两板间电压 V , v_s 与 V 有如下关系

$$v_s = \sqrt{\alpha V^2 + \beta} \quad (1.1)$$

导出系数 α 和 β 与 m, g, χ, d, η 的关系. 假设小导体圆片表面与平板间碰撞中的接触是均匀和瞬时的, 因此, 每一次碰撞小导体圆片和平板间的电荷交换在瞬时完成.

(e) 当达到一个稳态后, 如果 $qV \gg mgd$, 通过电容器两板间电流的时间平均值 I 可近似表示为 $I = \gamma V^2$. 求系数 γ 与 m, χ, d, η 的关系.

(f) 当电容器两板间电压 V 非常缓慢地下降时, 存在一个临界电压 V_c . 如果 V 小于 V_c , 电荷将在两板间停止流动. 求出 V_c 以及相应的临界电流 I_c 与 m, g, χ, d, η 的关系. 比较 V_c 与问题(c)中的阈值电压 V_{th} , 假设电压 V 在 $V = 0 \sim 3V_{th}$ 间循环上升和下降, 简略作出电容器的 $I - V$ 特性曲线.

[题1解答]

(a) 利用高斯定理, 极板之间加电压 V 时所带的电荷量 Q 为

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = Q \quad (a1)$$

$$Q = \epsilon_0 E \pi R^2 = \epsilon_0 \frac{V}{d} \pi R^2 \quad (a2)$$

电容器储存的能量为

$$U = \int_0^V V dQ = \int_0^V \epsilon_0 \pi R^2 \frac{V}{d} dV = \frac{1}{2} \epsilon_0 \pi R^2 \frac{V^2}{d} \quad (a3)$$

极板受到的作用力(见注释1)为

$$F_p = \frac{\partial U}{\partial d} = -\frac{1}{2} \epsilon_0 \pi R^2 \frac{V^2}{d^2} \quad (a4)$$

(b) 小圆片上的电荷量 q 也可以用高斯定理计算

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = q \quad (b1)$$

由于导体圆片的一面与极板接触, 故

$$q = -\epsilon_0 E \pi r^2 = -\epsilon_0 \frac{\pi r^2 V}{d} = \chi V \quad (b2)$$

所以

$$\chi = -\epsilon_0 \frac{\pi r^2}{d} \quad (b3)$$

(c) 作用在小圆片上的净力为重力与静电力的合力, 即

$$F_{net} = F_g + F_e \quad (c1)$$

其中重力 $F_g = -mg$. 忽略边缘效应, 静电力为

$$F_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 \pi r^2 \frac{V^2}{d^2} = \frac{\chi}{2d} V^2 \quad (c2)$$

为使小圆片提升起来, 须满足 $F_{net} > 0$, 即

$$\frac{\chi}{2d} V^2 - mg > 0$$

所以

$$V_{th} = \sqrt{\frac{2mgd}{\chi}} \quad (c3)$$

(d) 小导体圆片与下板碰撞后的“稳态速度”是 v_s , 碰撞后的动能为

$$K_s = \frac{1}{2} m v_s^2 \quad (d1)$$

每一个来回小圆片获得的静电能为(见注释2)

$$\Delta U = 2qV \quad (d2)$$

而每一次非弹性碰撞的动能损失为

$$\Delta K_{loss} = K_{before} - K_{after} =$$

$$(1 - \eta^2) K_{before} = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1\right) K_{after} \quad (d3)$$

K_s 是在和下板碰撞后的动能,因而到达上板碰撞前的动能为 $K_s + qV - mgd$. 这样一个来回总的能量损失为

$$\Delta K_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1\right) K_s + (1 - \eta^2)(K_s + qV - mgd) \quad (\text{d4})$$

达到稳态的条件是小圆片获得的静电能 ΔU 刚好补偿其能量损失 ΔK_{tot} , 即

$$2qV = \left(\frac{1}{\eta^2} - 1\right) K_s + (1 - \eta^2)(K_s + qV - mgd) \quad (\text{d5})$$

由此式解出

$$K_s = \frac{1}{2} mv_s^2 = \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} qV + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} mgd \quad (\text{d6})$$

因此

$$v_s = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \left(\frac{2\chi V^2}{m}\right) + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} (2gd)} \quad (\text{d7})$$

与 $v_s = \sqrt{\alpha V^2 + \beta}$ 比较得

$$\alpha = \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} \left(\frac{2\chi}{m}\right) \quad \beta = \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} (2gd) \quad (\text{d8})$$

(e) 每个来回小圆片携带的电荷量为 $\Delta Q = 2q$, 时间间隔为 $\Delta t = t_+ + t_-$, 这里的 t_+ , t_- 分别为上升和下落过程所用的时间, 它们满足方程

$$v_{0+} t_+ + \frac{1}{2} a_+ t_+^2 = d \quad (\text{e1})$$

$$v_{0-} t_- + \frac{1}{2} a_- t_-^2 = d$$

这里的 v_{0+} , v_{0-} 分别是向上和向下运动的初速度, a_+ , a_- 分别为上升和下落过程的加速度. 圆片受到的作用力为

$$F = ma_{\pm} = qE \mp mg = \frac{qV}{d} \mp mg \quad (\text{e2})$$

在 $qV \gg mgd$ 的极限下, 近似有

$$a_0 = a_+ = a_- \approx \frac{qV}{md} \quad (\text{e3})$$

可见向上和向下的运动是对称的. 方程(e1)可以简化为一个式子, 其中 $t_0 = t_+ = t_-$, $v_s = v_{0+} = v_{0-}$, $a_0 = a_+ = a_-$. 因为在上下两个极板刚刚碰撞之后的速度需相等, 因而有

$$v_s = \eta(v_s + a_0 t_0) \quad (\text{e4})$$

由此可以解出时间间隔

$$\Delta t = 2t_0 = 2\left(\frac{1 - \eta}{\eta}\right) \frac{v_s}{a_0} \quad (\text{e5})$$

由(d6)式, 考虑到 $qV \gg mgd$ 的条件, 得到

$$K_s = \frac{1}{2} mv_s^2 \approx \frac{\eta^2}{1 - \eta^2} qV \quad (\text{e6})$$

把(e3)、(e6)式的结果代入(e5)式, 得到

$$\Delta t = 2\left(\frac{1 - \eta}{\eta}\right) \sqrt{\frac{2\eta^2}{1 - \eta^2}} \sqrt{\frac{md^2}{qV}} = 2\sqrt{\frac{1 - \eta}{1 + \eta}} \sqrt{\frac{2md^2}{\chi V^2}} \quad (\text{e7})$$

因此

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{2q}{\Delta t} = \sqrt{\frac{1 + \eta}{1 - \eta}} \sqrt{\frac{\chi^3}{2md^2}} V^2 \quad (\text{e8})$$

所以

$$\gamma = \sqrt{\frac{1 + \eta}{1 - \eta}} \sqrt{\frac{\chi^3}{2md^2}} \quad (\text{e9})$$

(f) 电流停止的条件是小圆片不能到达上板, 即临界电压 V_c . 由到达上板时动能 \bar{K}_s 为零给出, 故有

$$\bar{K}_s = K_s + qV_c - mgd = 0 \quad (\text{f1})$$

其中 K_s 是稳态的动能:

$$\frac{\eta^2}{1 - \eta^2} qV + \frac{\eta^2}{1 + \eta^2} mgd + qV_c - mgd = 0 \quad (\text{f2})$$

解得

$$qV_c = \frac{1 - \eta^2}{1 + \eta^2} mgd \quad (\text{f3})$$

因为 $q = \chi V$, 故有

$$V_c = \sqrt{\frac{1 - \eta^2}{1 + \eta^2}} \sqrt{\frac{mgd}{\chi}} \quad (\text{f4})$$

为了与(c3)式的阈值电压比较,上式改写为

$$z_c = \sqrt{\frac{1-\eta^2}{2(1+\eta^2)}} \quad (f5)$$

[也可以由(d5)或(d6)式导出(f1)式]

以下计算时间间隔为 $\Delta t = t_+ + t_-$

$$v_{0+} t_+ + \frac{1}{2} a_+ t_+^2 = d \quad (f6)$$

$$v_{0-} t_- + \frac{1}{2} a_- t_-^2 = d \quad (f7)$$

其中加速度分别为

$$a_- = \frac{qV_c}{md} + g = \left(\frac{2}{1+\eta^2} \right) g \quad (f8)$$

$$a_+ = \frac{qV_c}{md} - g = \left(\frac{-2\eta^2}{1+\eta^2} \right) g \quad (f9)$$

所以

$$\frac{a_+}{a_-} = -\eta^2 \quad (f10)$$

因为 $v_{0-} = 0$, 所以 $v_{0+} = \eta(a_- t_-)$, $t_-^2 = 2d/a_-$

$$t_- = \sqrt{\frac{2d}{a_-}} = \sqrt{(1+\eta^2) \frac{d}{g}} \quad (f11)$$

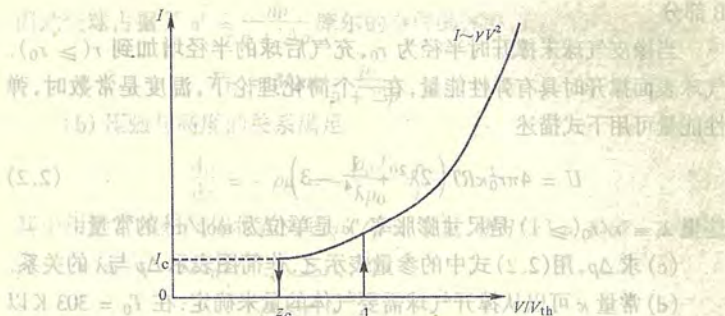
利用 $v_{0+}^2 = -2da_+$, 得

$$t_+ = -\frac{v_{0+}}{a_+} = \sqrt{-\frac{2d}{a_+}} = \sqrt{\frac{1+\eta^2}{\eta^2} \frac{d}{g}} = \frac{t_-}{\eta} \quad (f12)$$

所以

$$\Delta t = t_+ + t_- = \left(1 + \frac{1}{\eta} \right) \sqrt{(1+\eta^2) \frac{d}{g}} \quad (f13)$$

$$I_c = \frac{2q}{\Delta t} = \frac{2qV_c}{\Delta t} = \frac{2\eta \sqrt{1-\eta^2}}{(1+\eta)(1+\eta^2)} g \sqrt{m\chi} \quad (f14)$$



【题2】 升空的气球

一个充满氦气的橡皮气球从地面上升到高空时,大气压强和温度随高度而下降.在下列问题中,即使有负载,也假设气球始终保持球形,并忽略负载的体积.同时假设在气球内部氦气的温度与周围大气温度总是相同的,且作为理想气体处理.气体的普适常量是 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$,氦气和空气的摩尔质量分别为 $M_{\text{H}} = 4.00 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{mol}$ 和 $M_{\text{A}} = 28.9 \times 10^{-3} \text{ kg}/\text{mol}$,重力加速度是 $g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$.

A 部分

(a) 假设气球周围的大气压强是 p , 温度是 T . 由于气球表面存在张力,气球内部的压强高于外部的压强.气球含有 n 摩尔的氦气,内部压强是 $p + \Delta p$. 求出气球受到的浮力 F_B 与 $p, \Delta p$ 的函数关系.

(b) 在韩国的夏天,在 $0 < z < 15 \text{ km}$ 的范围内,距海平面高度为 z 处的温度满足 $T(z) = T_0(1 - z/z_0)$ 的关系,式中 $z_0 = 49 \text{ km}$, $T_0 = 303 \text{ K}$. 在海平面上大气压强和密度分别为 $p_0 = 1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\rho_0 = 1.16 \text{ kg}/\text{m}^3$. 在上述高度范围内,压强满足以下公式

$$p(z) = p_0 \left(1 - \frac{z}{z_0} \right)^\eta \quad (2.1)$$

求出 η 与 z_0, ρ_0, p_0 以及 g 的关系,计算 η 的值到2位有效数字.设重力加速度是不随高度变化的常量.

B 部分

当橡皮气球未撑开时半径为 r_0 , 充气后球的半径增加到 $r (\geq r_0)$. 气球表面撑开时具有弹性能量, 在一个简化理论下, 温度是常数时, 弹性能量可用下式描述

$$U = 4\pi r_0^2 \kappa RT \left(2\lambda^2 + \frac{1}{\lambda^4} - 3 \right) \quad (2.2)$$

这里 $\lambda = r/r_0 (\geq 1)$ 是尺寸膨胀率, κ 是单位为 mol/m^2 的常量.

(c) 求 Δp , 用(2.2)式中的参量表示之. 作简图表示 Δp 与 λ 的关系.

(d) 常量 κ 可以从撑开气球需要气体的量来确定. 在 $T_0 = 303 \text{ K}$ 以及 $p_0 = 1.0 \text{ atm}$ 条件下, 未撑开的气球 ($\lambda = 1$) 中有 $n_0 = 12.5 \text{ mol}$ 的氮气. 在相同的 T_0 和 p_0 条件下, 把气球充气到 $\lambda = 1.5$ 需要的气体总量是 $n = 3.6n_0 = 45 \text{ mol}$. 定义 $\alpha = \kappa/\kappa_0$, 其中 $\kappa_0 \equiv \frac{r_0 p_0}{4RT_0}$. 用 n, n_0 以及 λ 表示气球参数 α , 并计算 α 的值到 2 位有效数字.

C 部分

设在(d)条件下置备的气球(气球充气到 $\lambda = 1.5$, 氮气总量是 $n = 3.6n_0 = 45 \text{ mol}$, $T_0 = 303 \text{ K}$, $p_0 = 1 \text{ atm} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$). 包括气体、气球自重以及负载的总质量为 $M_T = 1.12 \text{ kg}$. 让该气球从海平面上升.

(e) 假设气球最终静止在 z_f 高度上, 这时浮力与总重力平衡, 求高度 z_f 以及该高度上的膨胀率 λ_f . 用 2 位有效数字表示数值结果. 假设上升过程中气球没有漏气, 也没有横向漂移运动.

[题 2 解答]

A 部分

(a) 利用理想气体状态方程, n 摩尔的氮气在压强 $p + \Delta p$, 温度 T 时体积为

$$V = \frac{nRT}{p + \Delta p} \quad (a1)$$

而 n' 摩尔的空气在压强 p , 温度 T 时体积为

$$V = \frac{n'RT}{p} \quad (a2)$$

因此气球占据了 $n' = \frac{np}{p + \Delta p}$ 摩尔的空气的体积, 其浮力等于 $M_A n' g$, 即

$$F_B = M_A n g \frac{p}{p + \Delta p} \quad (a3)$$

(b) 压强与高度的关系满足

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g = -\frac{\rho_0 T_0}{p_0} \frac{p}{T} g \quad (b1)$$

其中用到了理想气体状态方程 $\rho T/p = \text{常量}$. 将 $T(z) = T_0(1 - z/z_0)$ 和 $p(z) = p_0(1 - z/z_0)^\eta$ 代入上式, 得

$$\eta = \frac{\rho_0 z_0 g}{p_0} = 5.5 \quad (b2)$$

B 部分

(c) 在压强差为 Δp 时, 将气球半径从 r 增加到 $r + dr$ 需做功

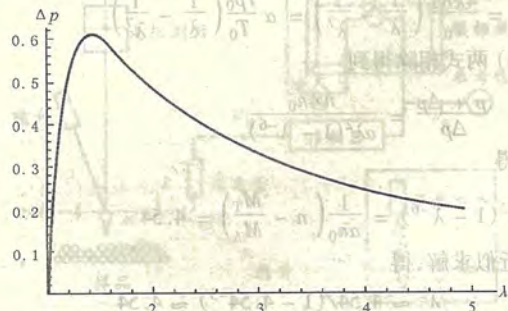
$$dW = 4\pi r^2 \Delta p dr \quad (c1)$$

它应该与半径从 r 增加到 $r + dr$ 气球弹性势能的增量相等, 即

$$dW = dU = 4\pi \kappa RT \left(4r - 4 \frac{r_0^6}{r^5} \right) dr \quad (c2)$$

因此

$$\Delta p = \frac{4\kappa RT}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) \quad (c3)$$



$\Delta p/(4\kappa RT/r_0)$ 与 λ 的关系如图所示. 它在 $\lambda > 1$ 时增加得很快, 在 $\lambda =$

$7\frac{1}{6} = 1.38$ 时达到极大值, λ 继续增大时则按 λ^{-1} 衰减.

(d) 理想气体状态方程是

$$p_0 V_0 = n_0 RT_0 \quad (d1)$$

以及

$$p_{in} V = nRT_0 \quad (d2)$$

这里的 $V = \lambda^3 V_0$. 这两个式子给出的压强差即为(c)问的结果

$$\Delta p = \left(\frac{n}{n_0 \lambda^3} - 1 \right) p_0 = \frac{4\kappa RT_0}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) = \alpha p_0 \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) \quad (d3)$$

$$\alpha = \frac{\frac{n}{n_0 \lambda^3} - 1}{\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7}} = 0.11 \quad (d4)$$

C部分

(e) 利用(a)的结果

$$M_T g = M_A n g \frac{p}{p + \Delta p} \quad (e1)$$

根据状态方程有

$$(p + \Delta p) \lambda^3 = \frac{nRT}{V_0} = p_0 \frac{T}{T_0} \frac{n}{n_0} \quad (e2)$$

另外(e3)式给出

$$\Delta p = \frac{4\kappa RT}{r_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) = \alpha \frac{T p_0}{T_0} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda^7} \right) \quad (e3)$$

将(e2)与(e3)两式相除得到

$$\frac{p + \Delta p}{\Delta p} = \frac{n/n_0}{\alpha \lambda^2 (1 - \lambda^{-6})} \quad (e4)$$

结合(e1)式得

$$\lambda^2 (1 - \lambda^{-6}) = \frac{1}{\alpha n_0} \left(n - \frac{M_T}{M_A} \right) = 4.54 \quad (e5)$$

用迭代方法近似求解,得

$$\lambda^2 \approx 4.54 / (1 - 4.54^{-3}) \approx 4.54$$

由(e1)和(e2)式还容易得到

$$\frac{p}{p_0} \frac{T_0 \lambda^3}{T} = \frac{M_T}{M_A n_0} \quad (e7)$$

利用 $T(z) = T_0(1 - z/z_0)$ 以及 $p(z) = p_0(1 - z/z_0)^\eta$,

$$\frac{p}{p_0} \frac{T_0 \lambda^3}{T} = (1 - z_i/z_0)^{\eta-1} \lambda^3 = \frac{M_T}{M_A n_0} = 3.10 \quad (e8)$$

代入 $\lambda_i = 2.1, \eta - 1 = 4.5$, 得

$$z_i = 49 \times [1 - (3.1/2.1^3)^{\frac{1}{4.5}}] \text{ km} = 11 \text{ km} \quad (e9)$$

[题3] 原子探针显微镜

原子探针显微镜(APM)是纳米科学的有用工具. APM悬臂的运动可以通过光探测器接收经悬臂反射的激光光束来测量,如图3.1所示. 悬臂只可在垂直方向运动,它的位移 z 与时间 t 的关系由下列方程式决定

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + kz = F \quad (3.1)$$

其中 m 是悬臂的质量, $k = m\omega_0^2$ 是悬臂的劲度系数, b 是一个小的阻尼系数,它满足 $\omega_0 \gg (b/m) > 0$, F 是压电管作用在悬臂上的驱动力.

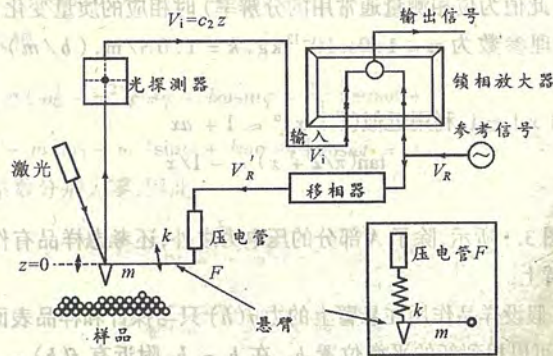


图3.1 原子探针显微镜结构示意图. 右下角的插图表示压电管和悬臂相互作用的简化力学模型

A 部分

(a) 当 $F = F_0 \sin \omega t$ 时, 方程(3.1) 中的 $z(t)$ 满足

$$z(t) = A \sin(\omega t - \varphi)$$

其中 $A > 0, 0 \leq \varphi \leq \pi$. 导出振幅 A 、 $\tan \varphi$ 与 $F_0, m, \omega, \omega_0, b$ 的关系. 并求出在共振频率 $\omega = \omega_0$ 时 A 和相位 φ 的表达式.

(b) 如图 3.1 所示的锁定放大器, 其作用是将输入信号与参考信号 $V_R = V_{R0} \sin \omega t$ 相乘, 之后只将乘积的直流成份输出. 假设输入信号为 $V_i = V_{i0} \sin(\omega_i t - \varphi_i)$, 其中 $V_{R0}, V_{i0}, \omega_i, \varphi_i$ 都是给定的正常数. 求出直流输出信号不为零时的 ω . 在此频率下, 该直流输出信号的幅度的表达式是什么?

(c) 锁定放大器的参考信号经过移相器后由 $V_R = V_{R0} \sin \omega t$ 变为 $V_R' = V_{R0} \sin(\omega t + \pi/2)$. V_R' 加在压电管上, 对悬臂施以作用力 $F = c_1 V_R'$. 这时光探测器将位移 z 转换为电信号 $V_i = c_2 z$. 这里 c_1, c_2 是常数. 导出在 $\omega = \omega_0$ 时直流输出信号的表达式.

(d) 悬臂微小的质量变化 Δm 可以使原来的共振频率改变 $\Delta \omega_0$. 结果在原来的共振频率 ω_0 处的相位 φ 改变了 $\Delta \varphi$. 导出当相位改变 $\Delta \varphi = \pi/1800$ (此值为位相测量通常用的分辨率) 时相应的质量变化 Δm . 悬臂的物理参数为 $m = 1.0 \times 10^{-12} \text{ kg}, k = 1.0 \text{ N/m}, (b/m) = 1.0 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$.

当 $|x| \ll 1$, 利用近似 $(1+x)^a \approx 1+ax$

$$\tan(\pi/2 + x) \approx -1/x$$

B 部分

如图 3.1 所示, 除了 A 部分的压电力之外, 还考虑样品有作用力作用在悬臂上.

(e) 假设样品作用在悬臂上的力 $f(h)$ 只与探针和样品表面的距离 h 有关, 可以找到新的平衡位置 h_0 . 在 $h = h_0$ 附近有 $f(h) \approx f(h_0) + c_3(h - h_0)$, 其中 c_3 是常数. 导出新的共振频率 ω_0' 与 ω_0, m, c_3 的关系.

(f) 通过水平移动样品, 探针可以在样品表面进行扫描探测. 探针

尖带有电荷量 $Q = 6e$, 它遇到一固定在样品表面下的点电荷 $q = e$. 当探针扫描时, 可探测到共振频率的最大变化 $\Delta \omega_0 = (\omega_0' - \omega_0) (\ll \omega_0)$. 求 $\Delta \omega_0$ 最大时针尖电荷量 Q 与点电荷 q 之间的距离 d_0 , 用 $m, q, Q, \omega_0, \Delta \omega_0$ 及库仑常量 k_e 来表示. 当 $\Delta \omega_0 = 20 \text{ s}^{-1}$ 时, 以 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) 为单位计算 d_0 .

悬臂的物理参数为 $m = 1.0 \times 10^{-12} \text{ kg}, k = 1.0 \text{ N/m}$. 忽略所有探头以及样品的极化效应. 注意 $k_e = 1/4\pi\epsilon_0 = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2, e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

【题 3 解答】

A 部分

(a) 将 $z(t) = A \sin(\omega t - \varphi)$ 代入方程

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + kz = F$$

得到

$$-m\omega^2 \sin(\omega t - \varphi) + b\omega \cos(\omega t - \varphi) + m\omega_0^2 \sin(\omega t - \varphi) = \frac{F_0}{A} \sin \omega t \quad (a1)$$

整理该式得

$$\left[m(\omega_0^2 - \omega^2) \cos \varphi + b\omega \sin \varphi - \frac{F_0}{A} \right] \sin \omega t + [-m(\omega_0^2 - \omega^2) \sin \varphi + b\omega \cos \varphi] \cos \omega t = 0 \quad (a2)$$

两项的系数分别为零, 因此

$$\tan \varphi = \frac{b\omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (a3)$$

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2\omega^2}} \quad (a4)$$

在 $\omega = \omega_0$ 时

$$A = \frac{F_0}{b\omega_0}, \quad \varphi = \frac{\pi}{2} \quad (a5)$$

(b) 输入信号与参考信号相乘的结果是

$$V_{i0} \sin(\omega_i t - \varphi_i) V_{R0} \sin \omega t = \frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \{ \cos[(\omega_i - \omega)t - \varphi_i] - \cos[(\omega_i + \omega)t - \varphi_i] \} \quad (b1)$$

只有当 $\omega = \omega_i$ 时, 直流输出信号才不为零, 它的值是

$$\frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \cos \varphi_i \quad (b2)$$

(c) 只有当 $\omega = \omega_0$ 时才有直流输出信号, 因此在此共振频率上的输入信号幅度为

$$V_{i0} = c_2 \frac{F_0}{b\omega_0} = \frac{c_1 c_2 V_{R0}}{b\omega_0} \quad (c1)$$

输入信号的 $\varphi_i = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} = 0$, 因此最后的输出信号为

$$\frac{1}{2} V_{i0} V_{R0} \cos 0 = \frac{c_1 c_2 V_{R0}^2}{2b\omega_0} \quad (c2)$$

(d) 当质量由 $m \rightarrow m' = m + \Delta m$ 时, 频率改变为 $\omega_0 \rightarrow \omega_0'$. 由于 $k = m\omega_0^2 = m'\omega_0'^2$, 所以

$$\omega_0'^2 = \frac{m\omega_0^2}{m + \Delta m} \approx \omega_0^2 + \left(-\frac{\Delta m}{m}\right)\omega_0^2 \quad (d1)$$

新的共振频率为 ω_0' , 在原来的共振频率 ω_0 相位满足

$$\tan \varphi' = \frac{b\omega_0}{m'(\omega_0'^2 - \omega_0^2)} = \frac{b\omega_0}{-m' \frac{\Delta m}{m} \omega_0^2} \approx -\frac{b}{\Delta m \omega_0} \quad (d2)$$

利用 $\tan(\pi/2 + x) \approx -1/x$

$$\tan \varphi' = \tan\left(\frac{\pi}{2} + \Delta \varphi\right) \approx -\frac{1}{\Delta \varphi} = -\frac{b}{\Delta m \omega_0} \quad (d3)$$

所以

$$\Delta m = \frac{b}{\omega_0} \Delta \varphi = 1.7 \times 10^{-18} \text{ kg} \quad (d4)$$

B 部分

(e) 在考虑样品的作用力以后, 方程改写为

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + b \frac{dz}{dt} + m\omega_0^2 z - c_3 z = F_0 \sin \omega t \quad (e1)$$

这里用到了 $f(h) \approx f(h_0) + c_3 z$ 以及 $z = h - h_0$. 注意在新的平衡位置 h_0 附近, $f(h_0) = 0$. 原来的频率 $\omega_0 = \sqrt{k/m}$, 新的共振频率为

$$\omega_0' = \sqrt{\frac{k - c_3}{m}} = \sqrt{\frac{m\omega_0^2 - c_3}{m}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{c_3}{m\omega_0^2}} \quad (e2)$$

因此可以求出频移

$$\Delta \omega_0 = \omega_0 \left(\sqrt{1 - \frac{c_3}{m\omega_0^2}} - 1 \right) \quad (e3)$$

(f) 当悬臂处在电荷正上方时的频移最大, 此时作用力为

$$f(h) = k_e \frac{qQ}{h^2} \quad (f1)$$

所以

$$c_3 = \left. \frac{df}{dh} \right|_{h=d_0} = -2k_e \frac{qQ}{d_0^3} \quad (f2)$$

由于 $\Delta \omega_0 \ll \omega_0$, 所以 (e3) 式近似为

$$\Delta \omega_0 = -\frac{c_3}{2m\omega_0} = k_e \frac{qQ}{m\omega_0 d_0^3} \quad (f3)$$

将各个数值代入上式可得

$$d_0 = \left(k_e \frac{qQ}{m\omega_0 \Delta \omega_0} \right)^{\frac{1}{3}} = 41 \text{ nm} \quad (f4)$$

· 实验试题与解答 ·

[试题]

力学“黑匣子”

[问题] 测量力学“黑匣子”中球的质量和两个弹簧的劲度系数.

力学“黑匣子”的一般信息

如图 1 所示, 力学黑匣子由圆柱形黑管中实心球连接两根弹簧组成. 两个弹簧由同一弹簧剪开, 具有不同圈数, 弹簧的质量和原始长度 (未伸展时) 忽略不计. 管子是均匀的, 有两个相同的盖子密封, 盖子插入管内 5mm. 球的半径 11mm, 管子内径 23mm. 重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. 球与管子的内壁有一定的摩擦.

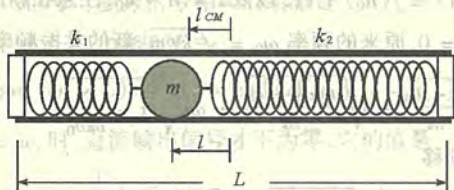


图1 力学黑匣子(不按比例)

本实验的目的是在不打开黑匣子的前提下求出球的质量和两根弹簧的劲度系数 k_1, k_2 . 这个问题的困难之处是单独一次实验不能得到球的质量 m 和位置 l , 因为这两个量是相互联系的. 这里 l 是力学黑匣子水平放置, 无摩擦平衡时, 管子中心和球心的距离.

请采用下列指定的符号表示各个相关的物理量. 如果需用其他的物理量, 符号不要与它们相同, 以避免混淆.

警告: 不要强烈震动和跌落力学黑匣子, 球也许会脱离弹簧. 如果力学黑匣子有问题, 立即报告监考老师, 仅更换一次不影响成绩, 以后每次扣除 0.5 分.

A 部分 球的质量和位置的乘积 ($m \times l$)

如图 1 所示, l 是力学黑匣子处于水平平衡位置时, 管子的几何中心和球心的距离. 在实验中求出球的质量 m 和位置 l 的乘积, 在 B 部分测量 m 时需要使用该乘积.

1. 提出能够得到 $m \times l$ 的测量方案, 用公式表示.
2. 实验测量 $m \times l$ 的值.

B 部分

如图 2 所示, 力学黑匣子水平固定在一个旋转桩座上, 一根线绳一端连接砝码, 另一端缠绕在旋转桩座上. 当砝码下落时, 通过线绳带动黑匣子旋转. 结合与本实验相关的方程和 A 部分获得的方程, 可导出一个求解黑匣子中球的质量 m 的方程.

在球和黑匣子柱型管的内壁之间存在摩擦力. 此摩擦力和处于旋

转中的球在黑匣子中滑移的物理机制很复杂. 为简单起见, 可忽略摩擦运动带来的能量损耗.

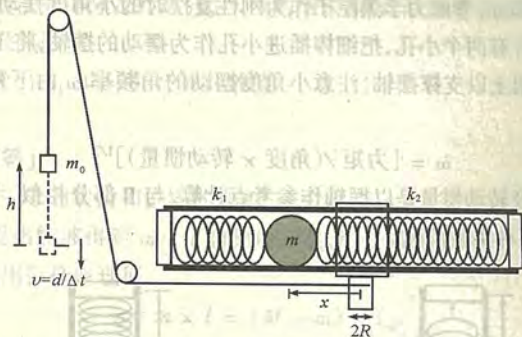


图2 旋转中的力学黑匣子(不按比例). 黑匣子的角速度 ω 可以通过测量通过光电门的砝码速度 v 获得. x 是球相对旋转轴的距离, d 是砝码在竖直方向的长度.

1. 让砝码从不同的高度 h 开始下落, 测量砝码通过光电门的速度 v . 建议 h 值的选取范围从 $h = 1.0 \times 10^{-2}$ m 到 4.0×10^{-1} m. h 值每间隔 $1.0 \times 10^{-2} \sim 2.0 \times 10^{-2}$ m, 测量一次. 将测量数据以适当方式在坐标纸上作图, 从而可以求出 m 的值. 如有必要, 在大致了解 v 和 h 之间关系后, 可以重复测量或补测一些测量数据点. 当力学黑匣子旋转得足够快时, 由于弹簧足够软, 球抵达并停留在管子的底部. 在图上标出慢速旋转区域和快速旋转区域.

2. 证明测量结果在慢速旋转区域应满足 h 正比于 v^2 的关系 ($h = Cv^2$), 在快速旋转区域应满足 $h = Av^2 + B$.

3. 半径为 r , 质量为 m 的球通过球心轴的转动惯量为 $2mr^2/5$. 如果球在旋转轴垂直方向上位移 a , 则转动惯量增加 ma^2 . 用字母 I 表示旋转体除去球以外的转动惯量. 求出系数 C 与力学黑匣子 m, l 等参量的关系.

4. 求出系数 A, B 与力学黑匣子 m, l 等参量的关系.

5. 根据测量结果和 A 部分的结果确定 m 的值.

C 部分 劲度系数 k_1 和 k_2

在这部分, 考虑力学黑匣子作为刚性复摆时的小角度摆动. 力学黑匣子两端各有两个小孔, 把细棒插进小孔作为摆动的摆轴, 将 U 形搁架固定于支架上以支撑摆轴, 注意小角度摆动的角频率 ω 由下列关系式给出

$$\omega = [\text{力矩}/(\text{角度} \times \text{转动惯量})]^{1/2}$$

此处力矩及转动惯量是以摆轴作参考点计算. 与 B 部分相似, 考虑如图 3 所示的两种实验情况.

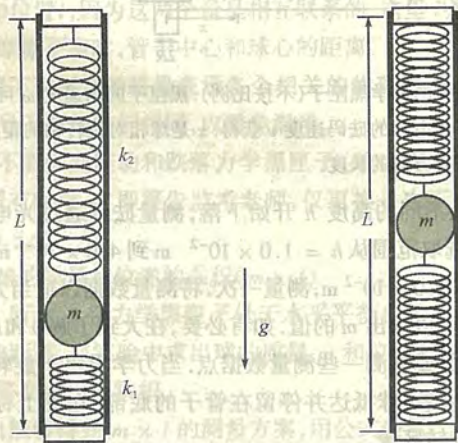


图 3 力学黑匣子的摆动(不按比例). 用光电门测量以上两种实验情况下小角度摆动的周期 T_1 及 T_2 . 细棒和 U 形搁架用于悬挂复摆.

1. 测量图 3(a) 及 (b) 所示的小角度摆动的周期 T_1 及 T_2 , 并记下它们的数值.

2. 利用方程解释图 3(a) 及 (b) 所示的小角度摆动的角频率 ω_1 和 ω_2 不同的原因. 用符号 I_0 代表不含球的力学黑匣子的相对于其一端的转

动惯量. Δl 为球离开水平平衡位置的位移.

3. 从前面的结果中消去 I_0 , 计算 Δl .

4. 结合 B 部分及 C 部分 1 ~ 3 的结果, 求此双弹簧系统的等效劲度系数 k 及其数值.

5. 导出 k_1 和 k_2 并计算其数值.

[解答]

A 部分 球的质量和位置的乘积 ($m \times l$)

1. 提出能够得到 $m \times l$ 的测量方案, 用公式表示. 整个系统质心确定后, 应用杠杆原理得

$$m \times l = (M + m) \times l_{CM}$$

2. 实验测量 $m \times l$ 的值. 通过直接测量, 可得

$$M + m = (141.1 \pm 0.05) \text{ g} = (1.411 \pm 0.0005) \times 10^{-1} \text{ kg}$$

$$l_{CM} = (2.1 \pm 0.06) \text{ cm} = (2.1 \pm 0.06) \times 10^{-2} \text{ m}$$

利用上式计算可得到

$$m \times l = (296 \pm 8) \text{ g} \cdot \text{cm} = (2.96 \pm 0.08) \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}$$

B 部分 小球的质量 m

1. 让砝码从不同高度 h 下落, 测量砝码通过光电门的速度 v . 将测量数据以适当方式在坐标纸上作图, 所作的图应适合于求出球的质量 m . 从图 1 上确定慢速旋转区域和快速旋转区域.

2. 测量结果说明在慢速旋转区域应满足 $h = C\omega^2$ 的关系, 在快速旋转区域应满足 $h = A\omega^2 + B$ 的关系.

3. 用黑匣子的参数表示 C

小球在黑匣子里相对静止 ($x = l$), 砝码速度为 v 时黑匣子总的动能为

$$K = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m \left(l^2 + \frac{2}{5} r^2 \right) \omega^2 =$$

$$\frac{1}{2} \left[m_0 + I/R^2 + m \left(l^2 + \frac{2}{5} r^2 \right) / R^2 \right] v^2$$

式中 $\omega = v/R$ 是角速度, I 是转动系统除小球以外的转动惯量. 下落过程机械能守恒, 所以

$$m_0 g h = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m \left(l^2 + \frac{2}{5} r^2 \right) \omega^2 =$$

$$\frac{1}{2} \left[m_0 + I/R^2 + m \left(l^2 + \frac{2}{5} r^2 \right) / R^2 \right] v^2$$

由此解出

$$h = C v^2$$

$$C = \left[m_0 + I/R^2 + m \left(l^2 + \frac{2}{5} r^2 \right) / R^2 \right] / 2m_0 g$$

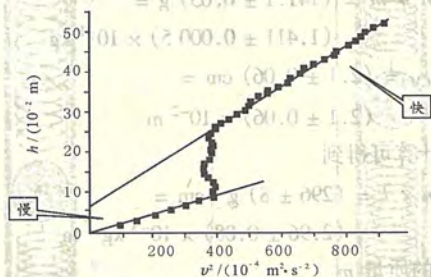


图1

4. 用黑匣子的参数表示 A 、 B

小球停留在管子的底端 ($x = L/2 - \delta - r$), 砝码速度为 v 时黑匣子总的动能为

$$K = \frac{1}{2} \left\{ m_0 + I/R^2 + m \left[\left(\frac{L}{2} - \delta - r \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right] / R^2 \right\} v^2$$

小球由起初的平衡位置 ($x = l$) 到达底端 ($x = L/2 - \delta - r$), 弹性势能的增量为

$$\Delta U_e = \frac{1}{2} \left\{ -k_1 \left(\frac{L}{2} - \delta - r - l \right)^2 + k_2 \left[(L - 2\delta - 2r)^2 - \left(\frac{L}{2} - \delta - r + l \right)^2 \right] \right\}$$

机械能守恒还应该包含有重力势能的增量 $\Delta U_g = -m_0 g h$, 即 $K +$

$\Delta U_e + \Delta U_g = 0$, 容易得到

$$h = A v^2 + B$$

$$A = \left\{ m_0 + I/R^2 + m \left[\left(\frac{L}{2} - \delta - r \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right] / R^2 \right\} / 2m_0 g$$

$$B = \left\{ -k_1 \left(\frac{L}{2} - \delta - r - l \right)^2 + k_2 \left[(L - 2\delta - 2r)^2 - \left(\frac{L}{2} - \delta - r + l \right)^2 \right] \right\} / 2m_0 g$$

5. 据测量结果和 A 部分的结果确定 m 的值.

由以上两个小问的结果可以得到 m 和 l 满足的另一个公式

$$A - C = \frac{m}{2m_0 g R^2} \left[\left(\frac{L}{2} - \delta - r \right)^2 - l^2 \right]$$

式中各值的测量结果为

$$L = (40.0 \pm 0.05) \text{ cm}$$

$$m_0 = (100.4 \pm 0.05) \text{ g}$$

$$2R = (3.91 \pm 0.005) \text{ cm}$$

A 和 C 的值由图的斜率给出

$$A = (5.0 \pm 0.1) \text{ s}^2/\text{m}$$

$$C = (2.4 \pm 0.1) \text{ s}^2/\text{m}$$

再结合 A 部分的结果 $m \times l = 2.96 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}$, 解得

$$m = (62 \pm 2) \text{ g} = (6.2 \pm 0.2) \times 10^{-2} \text{ kg}$$

C 部分 劲度系数 k_1 和 k_2

1. 小角度摆动的周期 T_1 及 T_2 的测量结果

	T_1/s	T_2/s
1	1.1085 ± 0.00005	1.0194 ± 0.00005
2	1.1092 ± 0.00005	1.0194 ± 0.00005
3	1.1089 ± 0.00005	1.0193 ± 0.00005
4	1.1085 ± 0.00005	1.0191 ± 0.00005
5	1.1094 ± 0.00005	1.0191 ± 0.00005
6	1.1090 ± 0.00005	1.0194 ± 0.00005
7	1.1088 ± 0.00005	1.0194 ± 0.00005
8	1.1090 ± 0.00005	1.0191 ± 0.00005
9	1.1092 ± 0.00005	1.0192 ± 0.00005
10	1.1094 ± 0.00005	1.0193 ± 0.00005

平均值为 $T_1 = (1.1090 \pm 0.00003) s$

$T_2 = (1.0193 \pm 0.00001) s$

2. 角频率 ω_1 和 ω_2 不同的原因.

黑匣子采取两种悬挂方式相对于摆轴的转动惯量分别为

$$I_1 = I_0 + m \left[\left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right]$$

$$I_2 = I_0 + m \left[\left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right]$$

当黑匣子轴线与竖直方向偏离小角度 θ 时重力矩为

$$\tau_1 = Mg \frac{L}{2} \sin\theta + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right) \sin\theta \approx \left[Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right) \right] \theta$$

$$\tau_2 = Mg \frac{L}{2} \sin\theta + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \sin\theta \approx \left[Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \right] \theta$$

$$\tau_2 = Mg \frac{L}{2} \sin\theta + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \sin\theta \approx \left[Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \right] \theta$$

$$\left[Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right) \right] \theta$$

因此摆动的角频率为

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{\tau_1/\theta}{I_1}} = \sqrt{\frac{Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right)}{I_0 + m \left[\left(\frac{L}{2} + l + \Delta l \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right]}}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{\tau_2/\theta}{I_2}} = \sqrt{\frac{Mg \frac{L}{2} + mg \left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right)}{I_0 + m \left[\left(\frac{L}{2} - l + \Delta l \right)^2 + \frac{2}{5} r^2 \right]}}$$

3. 从前面的结果中, 计算 Δl .

将上述式中的 I_0 消去, 得到

$$(\omega_2^2 - \omega_1^2) \left[\frac{(M+m)gL}{2} + mg\Delta l \right] + (\omega_2^2 + \omega_1^2) mgl = \omega_1^2 \omega_2^2 m(L+2\Delta l)(2l)$$

将各测量值代入上式可以解得

$$\Delta l = (7.2 \pm 0.9) \text{ cm} = (7.2 \pm 0.9) \times 10^{-2} \text{ m}$$

4. 此双弹簧系统的等效劲度系数 k .

$$k = \frac{mg}{\Delta l} = \frac{(62 \pm 2)980}{7.2 \pm 0.9} \text{ dyne/cm} = (9000 \pm 1000) \text{ dyne/cm}$$

或

$$k = (9 \pm 1) \text{ N/m}$$

5. 导出 k_1 和 k_2 并计算其数值.

黑匣子里小球在水平面内处于平衡的条件是

$$\frac{L/2 - l - \delta - r}{L/2 + l - \delta - r} = \frac{k_2}{k_1}$$

又因为

$$k = k_1 + k_2$$

所以

$$k_1 = \frac{L/2 + l - \delta - r}{L - 2\delta - 2r} k$$

$$k_2 = k - k_1$$

将各测量值代入上式得到

$$k_1 = (5\,700 \pm 600) \text{ dyne/cm}$$

或

$$k_1 = (5.7 \pm 0.6) \text{ N/m}$$

$$k_2 = (3\,000 \pm 1\,000) \text{ dyne/cm}$$

或

$$k_2 = (3 \pm 1) \text{ N/m}$$

参考资料

1. 全国中学生物理竞赛委员会办公室主编的历届《全国中学生物理竞赛专辑》。

2. 根据国家教育部制定的“物理课程标准”编写的实验教科书：

《高中物理课程标准实验教科书·物理必修1》

《高中物理课程标准实验教科书·物理必修2》

主编 陈熙谋 吴祖仁

3. 中国物理学会和中国教育学会物理教学研究会等联合主办的“全国计算机多媒体与网络物理教学研究评比大奖赛”第一至第五届获奖优秀课件精选光盘集(中学部分,每届4张光盘)。

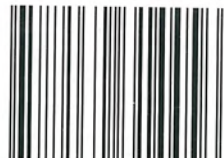
详情请查阅中国物理教育网。

网址: <http://www.cpenet.org.cn>

E-mail: wlth@263.net.cn

责任编辑：张素德
封面设计：丁丽珍

ISBN 7-5303-1445-9



9 787530 314456 >

ISBN 7-5303-1445-9/G·1420

定价：8.00元