

2004

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

2004 年全国中学生物理竞赛专辑
2004 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

2004年4月第6版 2004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)
在第二十届全国中学生物理竞赛闭幕式 暨颁奖仪式上的讲话	邵桂芳(19)
第二十届全国中学生物理竞赛闭幕词	丛树桐(22)
第二十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	(33)
第二十届全国中学生物理竞赛试题及参考解答	(37)
预赛试题及参考解答	(37)
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	(72)
北京市	(72)
上海市	(73)
天津市	(76)
重庆市	(79)
河北省	(83)
山西省	(84)
内蒙古自治区	(85)
辽宁省	(88)
吉林省	(91)
黑龙江省	(96)
江苏省	(97)
浙江省	(98)
安徽省	(99)
福建省	(99)

江西省	(103)
山东省	(104)
河南省	(108)
湖北省	(110)
湖南省	(111)
广东省	(112)
广西壮族自治区	(114)
海南省	(116)
四川省	(119)
贵州省	(120)
云南省	(122)
陕西省	(123)
甘肃省	(125)
宁夏回族自治区	(126)
青海省	(127)
新疆维吾尔自治区	(129)
西藏自治区	(131)
决赛试题及参考解答	(134)
第 34 届国际物理奥林匹克竞赛试题与解答	(165)

注:2003 年度开始,把历年本书原用书名《全国中学生物理竞赛参考资料》改为《全国中学生物理竞赛专辑》。

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.复赛包括里论和实验两部分.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同学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.

从第二届开始,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十七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 1~20 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
合计		2 332 961			2 338

赛,至今共派出 83 人,全部获奖.共获金牌 52 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.第二十一届全国中学生物理竞赛将于 2004 年举行,决赛地点为重庆市.2005 年的第二十二届竞赛的决赛在辽宁省举行.

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、季焘、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、 魏轶旻、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				
累计				52	20	9	2 83

全国中学生物理竞赛章程

(1991年2月12日经中国物理学会常务理事会通过、

1999年11月修改)

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.这项活动得到国家教育委员会基础教育司的正式批准.

竞赛的目的是促使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;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在物理学习方面比较优秀的学生.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全国中学生物理竞赛委员会(以下简称全国竞赛委员会)统一领导。全国竞赛委员会由主任1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委任。委员的产生办法如下:

1. 参加竞赛的省、自治区、直辖市各推选委员1人;
2. 承办本届和下届决赛的省、自治区、直辖市各推选委员3人;
3. 由中国物理学会根据需要聘请若干人任特邀委员。

在全国竞赛委员会全体会议闭会期间由主任和副主任组成常务委员会,行使全国竞赛委员会职权。

第六条 在全国竞赛委员会领导下,设立命题小组、组织委员会和竞赛办公室等工作机构。

命题小组成员由全国竞赛委员会聘请专家和高等院校教师担任。

组织委员会由承办决赛的省、自治区、直辖市物理学会与有关方面协商组成,负责决赛期间各项活动的筹备与组织工作,组织委员会主任兼任本届全国竞赛委员会副主任。

竞赛办公室是全国竞赛委员会的常设工作机构,负责处理有关竞赛的日常事务。

第七条 各省、自治区、直辖市物理学会在地方科协领导下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(以下简称地方竞赛委员会),负责组织和领导本省、自治区、直辖市有关竞赛的各项活动。地方竞赛委员会受全国竞赛委员会指导,但根据本省、自治区、直辖市的具体情况,在决定有关预

赛和复赛的各项工作安排时,可以有一定的灵活性。

第三章 竞赛程序

第八条 凡报名参加全国中学生物理竞赛的学生均在地方竞赛委员会指定的地点参加预赛。预赛(笔试)由全国竞赛委员会统一命题和制定评分标准,各地方竞赛委员会组织赛场和评定成绩。竞赛时间为3小时。

第九条 预赛成绩优秀的学生可参加复赛。复赛的笔试题由全国竞委会统一命题和制定评分标准,满分为140分;笔试时间为3小时。复赛实验由地方竞赛委员会命题和评定成绩,满分为60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赛委员会根据实际情况自行决定。参加复赛的人数不得少于本省、自治区、直辖市参加决赛人数的5倍。

第十条 各地方竞赛委员会根据学生复赛的总成绩,择优推荐3名学生参加决赛。对于在上届竞赛中成绩较好的省、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。一省所得奖励名额总数以4名为限。承办决赛的省、自治区、直辖市参加决赛的名额可增加3名。

地方竞赛委员会如认为有必要,可在复赛之后以适当的方式进行加试,以复赛和加试的总成绩作为推荐的依据。加试满分不超过30分,加试人数不得超过本省、自治区、直辖市应推荐人数的2倍。决定进行加试的省、自治区、直辖市的加试办法应经地方竞赛委员会讨论通过,上报全国竞赛委员会备案,并在复赛前向全体参赛学生明确公布。若参加决赛的最后一个名额有两名以上的学生成绩相同,则地方竞委会可对他们采取临时加试,

选取成绩最好的1名。

决赛由全国竞赛委员会命题和评定成绩。决赛包括理论和实验两部分,竞赛时间各3小时。理论笔试满分为140分,实验满分为60分。在评定一等奖时,可对部分学生增加口试,口试满分为40分。在评选二等奖和三等奖时,口试成绩不计入总分。

第四章 命题原则

第十一条 竞赛命题要从我国目前中学生的实际情况出发,但题目的内容不必拘泥于现行的教学大纲和统编教材。竞赛题目既包括理论笔试题,也包括实验操作题;既要考查学生的基础知识,又要着重考查学生的能力,以利于促进学生用正确的方法学习物理。

第十二条 预赛、复赛和决赛命题均以全国竞赛委员会制定的《全国中学生物理竞赛内容提要》为依据。

第五章 报名手续

第十三条 全国中学生物理竞赛每学年举行一次。在校中学生可向学校报名,经学校同意,由学校到地方竞赛委员会指定的地点报名。

第十四条 各地方竞赛委员会按全国竞赛委员会的要求书面向全国竞赛委员会办公室集体报名。

第六章 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、县或学校之间的评比。根据决赛成绩和参加决赛人数,每届评选出一等奖、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 $\frac{1}{6}$ 和 $\frac{1}{3}$ 。由全国竞赛委员会给予奖励。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、奖章和奖品。

第十六条 对于在预赛和复赛中成绩优异的学生,全国竞赛委员会设立赛区(以省、市、区为单位)一、二、三等奖,委托各地方竞赛委员会根据本地区实际情况进行评定。奖励名额根据参加预赛的人数按全国竞委会规定的比例确定。赛区一、二等奖的评定应以复赛成绩为准。对于赛区一、二、三等奖获奖者均颁发由中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会署名盖章的全国中学生物理竞赛赛区获奖证书。

地、市、区、县及学校,对在预赛中成绩较好的学生可以通过一定的方式给予表扬,以资鼓励。也可以颁发有纪念意义的奖品。

第十七条 对优秀学生的奖励应以精神鼓励为主,物质奖励要适当,不宜过多。

第十八条 对在决赛中获奖和获赛区一、二等奖的学生的指导教师,由各地方竞赛委员会确定名单,以全国竞委会名义给予表彰,发给荣誉证书。

第七章 经 费

第十九条 学生参加预赛和复赛所需食、宿、交通费用原则上由学生自理。有条件的地、市、区、县或学校,对参加复赛的经济确有困难的学生可适当给予补助。

参加决赛的学生的食、宿、交通费用,由地方竞赛委员会与有关方面协商给予补助。

第二十条 各省、自治区、直辖市组织竞赛活动所需经费由地方竞赛委员会、教委(教育厅、局)、地方科协及有关方面协商解决。报名费收入全部由地方竞赛委员会留用,预赛和复赛试卷

费及组织预赛和复赛所需经费由地方竞赛委员会负担。

第二十一条 复赛实验题以外的命题费用及组织决赛活动所需经费由承办决赛的省、自治区、直辖市负责筹措。全国竞赛委员会给予适当的补助。

第二十二条 经费开支应贯彻勤俭节约的原则。

第八章 附 则

第二十三条 本章程经中国物理学会常务理事会议讨论通过后施行。本章程的修改权及解释权属中国物理学会常务理事会议。

说 明

受全国中学生物理竞赛委员会委托，自 1998 年起，《全国中学生物理竞赛专辑》由本社负责编辑、发行。

本社尚有少量《全国中学生物理竞赛参考资料》，1999 年、2000 年的每本定价 6.50 元，2002 年、2003 年的每本定价 7.50 元，均含邮资。如挂号，每件另加挂号费 3.00 元。如欲购，请与本社联系。

地址：河北省保定市合作路 105 号河北大学内

邮政编码：071002

联系电话：0312 - 5079579 5039233

物理通报杂志社

2003.4

全国中学生物理竞赛内容提要

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、实验基础、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十次全体会议正式通过,开始实施.

经2000年,第十九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》将从2002年起实行,2001年举行的十八届物理竞赛预、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》.

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

匀速及匀变速直线运动及其图象 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

※质心 质心运动定理

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 动量定理 动量守恒定律

反冲运动及火箭

5. ※冲量矩 ※质点和质点组的角动量 ※角动量守恒定律

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

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
振动的图象

参考圆 振动的速度和加速度

由动力学方程确定简谐振动的频率

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 波的图象

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 介电常数

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

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

光的干涉和衍射(定性)

光谱和光谱分析 电磁波谱

3. 光的本性

光的学说的历史发展

光电效应 爱因斯坦方程

光的波粒二象性

近代物理

1. 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

2. 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

3. ※不确定关系 ※实物粒子的波粒二象性

4. ※狭义相对论 爱因斯坦假设 时间和长度的相对论效

应

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad E = mc^2$$

5. ※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、实验基础

1. 要求掌握国家教委制订的《全日制中学物理教学大纲》中的全部学生实验。

2. 要求能正确地使用(有的包括选用)下列仪器和用具:

米尺 游标卡尺 螺旋测微器 天平 秒表 温度计 量热器 电流表 电压表 欧姆表 万用电表 电池 电阻箱 变阻器 电容器 变压器 开关 二极管 光具座(包括平面镜、球面镜、棱镜、透镜等光学元件在内)。

3. 有些没有见过的仪器,要求能按给定的说明书正确使用,例如电桥、电势差计、示波器、稳压电源、信号发生器等。

4. 除了国家教委制订的《全日制中学物理教学大纲》中规定的学生实验外,还可安排其他的实验来考查学生的实验能力,但这些实验所涉及到的原理和方法不应超过本提要第一部分(理论基础),而所用仪器应在上述第2、3指出的范围内。

5. 对数据处理,除计算外,还要求会用作图法。关于误差,只要求直读示数时的有效数字和误差、计算结果的有效数字(不作严格的要求)和主要系统误差来源的分析。

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.

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参考资料》.
2. 《北京市高级中学实验课本 物理》:北京市教育委员会编.主编 沈克琦.

在第二十届全国中学生物理竞赛闭幕式

暨颁奖仪式上的讲话

山东省人大常委会副主任、山东大学党委书记 邵桂芳

尊敬的各位领导,各位专家,老师们,同学们:

秋风送爽,又是一个收获的季节.第二十届全国中学生物理竞赛圆满完成了各项工作,今天在这里胜利闭幕了.我谨代表山东省人大常委会和山东大学向这次竞赛获得圆满成功表示热烈的祝贺,向获得本届竞赛各项奖励的各位同学表示诚挚的祝贺,向组织、参与这次竞赛工作的单位及专家们、同志们表示衷心的感谢!

当人类社会跨入 21 世纪的时候,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段.百年大计,教育为本.教育是培养人才和发展科学技术的基础,在现代化建设中具有先导性、全局性作用.党的十六大明确指出,必须把教育摆在优先发展的战略地位,坚持教育创新,深化教育改革,优化教育结构,合理配置教育资源,提高教育质量和管理水平,全面推进素质教育,造就数以亿计的高素质劳动者、数以万计的专门人才和一大批拔尖创新人才.教育事业的发展为经济和社会发展提供了强有力的人才保障和智力支持.改革开放以来,特别是党的十五大以来,在山东省委、省政府的正确领导下,在社会各界的大力支持下,经过教育战线广大干部职工的共同努力,山东教育事业蓬勃发展,取得了历史性成就.初步实现了高等教育由精英教育向大众教育的跨越;建立了面向市场的职业教育体系的基本框架;基础教育在完成“普九”任务的基础上向普及高中段

教育迈进。最近六年是建国以来山东教育事业改革步伐最大、发展速度最快的时期，为山东现代化建设提供了巨大的人力和智力支持，为实施“科教兴鲁”战略、加快现代化建设做出了重大贡献。

青少年是祖国的未来，也是科技发展的未来。江泽民同志指出：“正确引导和帮助青少年健康成长，使他们能够德、智、体、美全面发展，是一个关系到我国教育发展方向的重大问题。”学科竞赛是一项具有广泛群众基础和强烈社会影响的竞赛活动，已成为我国青少年广泛参与的普及性青少年科技活动。举办学科竞赛活动旨在提高中学生学习的主动性和积极性，改进学习方法，增强学习能力；促进学校开展多样化的课外活动，活跃学习氛围；发现具有突出才能的青少年，以便更好地对他们进行培养。这也是实施“科教兴国”战略，走科技强国之路的重要举措。广大青少年参加竞赛活动不仅可以开阔视野、增长新知识、展示自己的风采，而且也是培养自身创新精神、创新能力的重要途径和形式。通过举办学科竞赛活动，为我国培养了大批优秀的科技后备人才。按照省委、省政府文件精神和中国科协对学科竞赛工作的有关要求，山东省建立了由省科协、省教育厅的领导和有关省级学会的负责同志组成的“山东省中学生学科奥林匹克竞赛管理委员会”（省竞赛委），制定了《山东省中学生学科奥林匹克竞赛管理办法》（《管理办法》），以严格的组织程序、规范的制度和完善的措施来保证学科竞赛公平和公正，维护参赛学生的正当权益和学科竞赛的良好声誉。希望全国中学生物理竞赛委员会的各位专家、老师对山东的竞赛管理工作多提宝贵的意见和建议，给予更多的支持和帮助。

山东大学是一所充满生机活力的百年名校，坐落在被誉为“四面荷花三面柳，一城山色半城湖”的美丽泉城——济南，其前

身“山东大学堂”创立于1901年,现为教育部和山东省人民政府重点共建的全国重点综合性大学。百余年来,地处孔子故乡,根植于齐鲁大地的山东大学以民族复兴为己任,汇聚天下英杰,培育社会栋梁,形成了以人为本,注重学术的优良传统,求真务实、开放拓新的优良校风,为国家的经济社会发展,为海内外文化学术交流做出了自己的贡献。2000年7月,原山东大学与山东医科大学、山东工业大学合并,组建成规模更大、实力更强、学科门类更为齐全的新的山东大学。现在学校有文史哲、经管法、理工医、教育等十大学科门类,有一级学科博士学位授权点13个,二级学科博士学位授权专业118个,博士后流动站14个,硕士点199个,有93个本科专业,已形成了完整的人才培养体系。2001年10月山东大学迎来了她的第一个百年华诞,国家主席江泽民亲笔为学校题词“团结进取,开拓创新,为把山东大学办成国内外知名的高水平大学而奋斗”。新山大,新机遇,新发展。今天,百年的山大正在进入她历史上的又一个黄金时期。我们热切希望今天在座的同学们,到山东来,到山东大学来学习深造。五万名山大在校的学子正期盼着你们的到来,你们的加入将会为山东大学增添新鲜血液,注入新的活力。一万余名山大教职工正在为你们的到来而辛勤工作,创造良好的学习环境。我们相信你们选择了山大这所百年名校,将会无怨无悔。积淀了百年的办学优良传统和文化底蕴的山东大学将会为你们的健康成长、成才提供更为优越的条件,为你们的未来发展搭建更为广阔的舞台。山东大学欢迎你们。

最后,祝各位身体健康,工作愉快,学习进步!

2003年10月22日

第二届全国中学生物理竞赛闭幕词

全国竞赛委员会主任 丛树桐

各位领导,各位来宾,各位委员,老师们,同学们:

第二届全国中学生物理竞赛已经胜利完成.全国参加预赛的学生共 359 835 名,参加复赛理论考试的学生共 15 380 名,参加复赛实验考试的学生共 2 006 名.经过决赛,全国共评出赛区一等奖 29 名,二等奖 58 名,三等奖 83 名,单项奖 4 名.我代表全国中学生物理竞赛委员会向所有获奖的同学表示热烈的祝贺,向指导学生参赛的老师表示诚挚的敬意.

本届决赛是由山东省物理学会和山东大学承办的.在承办过程中,得到了山东省人民政府、山东省科协、山东省教育厅和财政厅各领导部门的大力支持.山东大学和山东省物理学会的领导和广大师生员工为本届决赛做了大量的工作,山东省实验中学承担了会务工作,他们都付出了艰辛的劳动,所有这些使本届决赛的各项工作得以顺利完成.本届竞赛的命题任务是由山东大学、北京大学、清华大学、复旦大学、北京师范大学、首都师范大学的老师们承担的.决赛的阅卷、评分以及监考工作是由山东大学承担的.此外,北京大学、清华大学、复旦大学、中国科技大学、上海交通大学和《物理通报》杂志社对本届竞赛给予了支持和资助;北京职业技术师范学院和《大学物理》编辑部给予了工作上多方面的帮助;山大鲁能集团和山东一些中学也给予了资助.我代表全国中学生物理竞赛委员会对以上各单位的领导和同志们表示衷心的感谢.

全国中学生物理竞赛已举办了 20 届,1984 年中国物理学会

常务理事会通过了“举办第一届全国中学生物理竞赛的计划”。常务理事会很重视这项活动,特聘请当时北京大学副校长、中国物理学会副秘书长(后任副理事长)兼教学研究委员会主任沈克琦教授为主任委员。在1984年第一届全国中学生物理竞赛决赛的授奖大会上,当时全国政协副主席、中国科协主席、中国物理学会名誉理事长、老一辈物理学家北京大学周培源教授到会讲话。当时中国物理学会理事长钱三强教授也委托副理事长周光召教授到会讲话。周培源先生语重心长地对同学们说“希望你们勇敢地肩负起自己光荣而艰巨的历史使命,勤于思考,勇于探索,开辟前人没有走过的道路,成为创造型、开拓型的优秀人才”。

我们的竞赛从一开始就是在老一辈物理学家的重视和指导下,以正确的指导思想开展起来的。第一届竞赛后,便开始拟订竞赛章程。1985年制订了《全国中学生物理竞赛暂行办法》,1990年进一步修订为《全国中学生物理竞赛章程》,经中国物理学会常务理事会讨论通过,并上报中国科协,1990年同时制订了《全国中学生物理竞赛内容提要》,从而使我们的竞赛能健康地发展。

从第一届到第二十届,参加竞赛学生的总人数有233万多人。参加决赛的人数为2338人。另外在竞赛的基础上,还选拔了83人参加国际物理奥林匹克竞赛(IPhO)。

全国中学生物理竞赛是由中国科协主管,由中国物理学会主办,并得到了国家教育部的肯定和支持。在全国上下各有关方面的共同努力下,竞赛取得了很大的成绩。其中最主要的是,竞赛为对物理有兴趣而且学习优秀的高中学生提供了一个自愿参加的、课外主动学习的、自学与讨论相结合的环境,在这个环境中,能进一步激发他们研究物理的真正兴趣和科学志愿,使他们

独立思考的能力和发现问题、提出问题、解决问题的能力得到培养和提高。

在 2001 年我们曾对 1999 年参加物理竞赛决赛的部分学生进行过跟踪调查,获得决赛一等奖学生的 53%,二等奖的 46%,三等奖的 21%,申请并被录取到北京大学物理系。入学一年后,不包括政治、外语和体育三门公共课,其他专业课程统计结果是前 30 名学生中竞赛录取的占 2/3。现在他们已进入了大学四年级,在二三年级时,他们就已介入了科研工作,并做出了不少成绩,有的学生写出的论文已发表在 APL 即《应用物理快报》这种国际上属于高水平的物理杂志上。我相信进入其他高校的学生,也会是该校的优秀学生。这说明我们物理竞赛的预测效度是比较高的。我们还曾对 2000 年重庆市获得赛区一等奖的学生的入学情况做了调查,全部 42 名有保送资格的应届毕业生,一部分接受保送,一部分主动放弃保送而参加高考,结果都进入了他们自己所希望的重点大学和有兴趣的专业。重庆市 2001 和 2002 年的情况仍是如此。这说明他们不仅物理学得好,其他学科的学习成绩也能经得起重点大学高考选拔的考验。

物理竞赛不仅培养了大批的优秀学生,而且也有助于提高很多中学物理老师的业务水平和教学水平。在竞赛 10 周年时我们曾做过大规模的问卷调查,认为对老师很有帮助和有一定帮助的占 87.6%。我认识一位业务上和教学上在全国来说其水平也是很突出的特级教师,尽管他那时已不指导参赛学生,但他对每年的物理竞赛题都自己独立地做一遍,并对题目所涉及的能力要求结合优秀学生的实际进行分析、研究、评论。他说这对他的业务水平和教学水平的提高很有帮助。

另外,20 年来,依靠全国以及各地区竞赛委员会和广大大、中学校领导和老师们的支持和帮助,对如何组织物理竞赛,如何

指导和培养学生,各地都取得了许多经验,保证了我们竞赛能顺利地进行。

我相信,只要我们遵循《章程》中所确定的一些基本原则,我们就一定能使竞赛健康地发展,在培育人才方面发挥它应有的作用。

我们也要看到我们还存在的困难和问题,我们的期望和实际的结果还有不小的距离.其中最重要的还是培养什么样的人 and 如何培养的认识问题,这里的关键是如何培养学生对科学有强烈的热爱和锲而不舍的探索欲望.我认为无论是我们全国竞赛委会还是广大的老师和同学以及有关的领导和学生家长,都需要对这个问题进一步学习,都需要排除各种比较狭隘的认识和不利因素的干扰。

我们要重视的另一个问题是,无论是各级竞赛委会还是老师和同学,大家都应维护物理竞赛的质量和信誉,防止社会上某些腐败现象特别是利用某些大大小小的权力企图通过不正当的途径取得好的分数这种行为对我们的侵蚀.我们一定要防范这种现象的发生,使我们的物理竞赛能健康地发展。

老师们、同学们,我们竞赛的目的是希望有助于培养对物理学有浓厚的兴趣、由衷的热爱、有强烈的探索欲望和独立思考能力,具有能发现问题、提出问题和解决问题能力的创造型人才.我们要向这样的科学家学习.在我国的物理学界,有不少这样的真正的科学家.其中尤为突出的是中国科学院院士黄昆先生。

黄先生曾任中国物理学会理事长,我们竞赛章程就是他在任时期完成的.黄先生今年已 84 岁高龄,但他仍然在从事科研工作。

黄先生毕业于燕京大学,后在西南联大作研究生,接着考取“庚子赔款”留学英国的公费生.在英国他的导师是诺贝尔奖获

得者 N·F·莫特 (Mott), 后来他又与诺贝尔奖获得者 M·玻恩 (Born) 合作研究和著书. 1951 年回国, 任北京大学物理系教授长达 26 年. 1977 年任中科院半导体所所长, 后任名誉所长.

黄先生在物理学上有重大的贡献, 在固体物理的若干领域中做出了创造性和开拓性的贡献. 例如, 在英国作研究生时, 他就提出了固体中杂质缺陷导致 X 射线漫散射的理论, 被国际上称为“黄散射”. 后来他又提出了多声子的辐射和无辐射跃迁的量子理论这一奠基性的工作, 被国际上称为“黄 - 里斯理论”. 以后他又提出了关于晶体中声子与电磁波的耦合振荡模式, 提出了被国际上称为“黄方程”的理论, 创建了这一分支学科领域.

黄先生与诺贝尔奖获得者玻恩合著的《晶格动力学理论》一书, 成为这一领域的奠基权威著作, 有的固体物理学家称之为研究固体物理的“圣经”.

黄先生 60 多岁以后还重新研究并澄清了固体物理的某一领域中 30 年来所出现的混乱, 提出了有关的理论依据. 近 70 岁时还与助手合作建立了半导体超晶格声子模式的“黄 - 朱模型”, 推动了相关领域的发展.

由于黄先生的卓越贡献, 1955 年就被选聘为第一批中国科学院数理部学部委员, 后改为院士, 他是最年轻的, 时年 36 岁. 黄先生得过很多次学术奖, 2001 年获中华人民共和国最高科学技术奖.

黄先生也是国际上著名的物理学家, 在国际上享有很高的声誉. 1980 年被遴选为瑞典皇家科学院国外院士. 后被美国圣母玛利亚大学授予“第二届理论物理弗雷曼奖”. 被美国中部州立大学协会授予“卓越外国学者”称号. 又被选为第三世界科学院院士.

黄先生获得中华人民共和国最高科学技术奖后, 国家科学

技术奖励工作办公室组织人员编著国家最高科学技术奖获奖人丛书。为黄先生撰写的书名是《黄昆——声子物理第一人》。该书集中收集了各个时期一些最接近黄先生的人写的关于黄先生治学、为人的文章，其中很多都是黄先生的见解和言论，经过作者的精心研究吸取，著成一本传记性的专著。书中包括了黄先生从小到现在的学习、工作、学术成果和做人原则。

该书内容非常丰富、深刻。当然每位真正有重大成就的科学家各有自己的治学之道，各有自己的独立见解。我们都可以从中吸取自己所需要的教益。我这里只想引用书中“治学之道”一章中部分内容——黄先生一些精辟的见解。我认为这些对我们以及老师和同学们都有长远的教育意义，有的对我们认识当前竞赛存在的问题有重要的指导意义。

黄先生从自己的亲身经历和通过别人的经验教训，归纳出两句名言：

(1)学习知识不是越多越好，越深越好，而是要服从于应用，要与自己驾驭知识的能力相匹配。

(2)对于创造知识，就是要在科研工作中有所作为；真正做出点有价值的研究成果。为此，要做到三个“善于”，即要善于发现和提出问题，尤其是要提出科学上有意义的问题；要善于提出模型或方法去解决问题，因为只提出问题而不去解决问题，所提的问题就失去实际意义；还要善于做出最重要、最有意义的结论。

黄先生从中学起到获得博士学位，都在主动地学习，任何新的东西都必须经过他的“免疫系统”，只有被他的“免疫系统”识别，并在他自己的知识体系中重新定位以后，新的知识才被他自己接受，成为他自己能驾驭的知识。黄先生每研究一个问题都喜欢“从第一原理出发”，从最基本的概念开始思考。他觉得这样思路

才能不受他人的束缚,才有主动性.他说“我文献看的比较少.因为那样容易被别人牵着鼻子走,变成书本的奴隶.自己创造的东西和接受别人的东西,对我来说,后者要困难得多.”“自己一旦抓住线索,知道怎么做,工作就会开展得很顺利.”

在这里我还可以举出一件事予以补充.大约 10 年以前,过春节时几个过去的学生去给黄先生拜年.也由于考虑到竞赛问题,曾经问黄先生“您在中学学习时有什么特点?”他大意是说,最近学部正在请他们这些院士谈一些这方面的经验.

当时黄先生谈了三点,第一点是他学习不习惯也不愿意“从半截出发”,他学习总是从最基本的东西出发,这和上面引用的从“第一原理出发”的说法是一致的.正因为如此,所以他学过的东西总是能抓住最本质的,融会贯通.无论学习或科研都具有极大的主动性和独到的见解.在教学中也是这样,他从不依靠书本,全部讲课内容都体现他的见解.他回答学生的提问,总是能用最明白、最基础的概念,一针见血地解答问题.

黄先生谈到第二点时,他很风趣地用一种贬义词表达他的真正的优点,他说他学习有些“闭门造车”.中学时他回家后无事,他伯父就建议他做习题,他说,他做习题从来不看例题,从不想模仿别人的解法.而总是独立思考,独立钻研.他说这一点对他后来大学的学习以及研究工作的开展有重要的作用.不按别人的套套而自己独立思考,不模仿而是创造.

和黄先生接触过的人都知道,和他谈问题不仅是物理方面,也不仅是学术方面,总是能听到他自己具有鲜明特色的深刻的语言和见解.

我认为我们现在竞赛的培养方式有一些带有明显的缺点,你叫它“题海战术”也好,你叫它“体育竞技型的集训”也好,反正有很大一部分学生,热衷于听很多培训讲课,听了很多知识,培

训了大量的难题,但是这些东西对他来讲实质是外在的东西,没有变成他自己的,并没有真正掌握驾驭这些知识的能力.其表现之一就是,凡是培训过的内容,包括很难的习题,或大学的实验他都“会做”,但碰到没有培训过,或“题海”里没见过的,那怕比较容易甚至相当简单的题或实验,他反而感到困难甚至无能为力.这是一个非常值得重视的问题.

黄先生谈到第三点是不要急于超前学习,他认为青少年时年龄和智力发展到一定阶段,以前学起来很困难的东西,此时并不困难.我们现在有些做法,不从学生是否有驾驭知识的能力考虑,而主张强化超前学习普通物理甚至理论物理的某些部分.也许从取得竞赛一等奖来说会产生某些近期效应,但从长远来看,对学生真正兴趣的激发、真正独立思考能力和创造性能力的培养可能并不见得有利.一些食而不化的现象并不少见.

书中说到,黄先生认为自己不是一个“天才”,而严谨、勤奋和追求完美成为黄先生治学的鲜明特点.他总是对自己学术的平价比较低调,他说“没有什么远大目标,只不过按部就班,一步一步地做得还可以”.获得诺贝尔奖的导师和合作者莫特和玻恩都不是黄先生心目中所谓的天才,黄先生年轻时在英国一起学习工作的人后来有几个得了诺贝尔奖,黄先生认为他们就不一定都有特别的才能,而勤奋和对科学进行探索的强烈欲望是最重要的.

有记者曾问黄先生:“谁对您的一生影响最大?”黄先生坦率地回答道:“我自己对自己影响最大.像我这样考虑问题,没有太高的天赋也能做出很好的工作.过去教学时,大家评论我课上得不错,我也认为是下了功夫的,因为我认为上课也是培养人,上课是我的责任,我尽了我自己很大的努力.”

严谨是黄先生治学上又一特点.对于自己所研究问题的每

一环节,黄先生都要反复推敲,有时经过“否定之否定”的 n 次方,才得到一个正确的结论.黄先生常说,他的十个想法中有九个靠不住,为此他总是仔细推敲,他从不相信在学习和科研中天上会掉下馅饼.

黄先生认为,基础研究不像一些具体任务,看起来是一种不松不紧的工作,要看书,要思考,每一点都要反复推敲,不能草率行事.因此,对待研究工作若没有一种内在的紧迫感,对自己所做的工作若不总是非常有兴趣,不把它看成比任何别的工作都更有意义,便会一事无成.

这使我想起了前几年清华大学请了几位获得诺贝尔奖的科学家来做报告,当时有的新闻记者对他们进行个人采访,总是要追问他们,你的目的是什么,你的动力是什么,你在办公室和实验室长期工作,你不感到寂寞吗?你用什么来调节你寂寞的生活.似乎总希望科学家能回答出动机上有什么强烈的个人名利或政治上的豪言壮语或生活上有什么排解苦闷的办法,问来问去,人家几乎都是说动力就是真正的兴趣,对科学的热爱,没有感到寂寞,感到的是科学研究中的快乐.

黄先生以及这些科学家的这种思想境界对我们非常重要,我们的物理竞赛,如果引导学生把金牌、名利放在第一位,认为这比什么都重要.我看,这将会是竞赛中的一种负作用,至少是一种很狭隘的思想境界,它会妨碍一个真正的科学家的成长.

黄先生的俭朴生活是出了名的,书中也有介绍.如他住的房子是 20 世纪 50 年代北大盖的家属宿舍.科学院多次请他搬家,他坚决不搬.问他为什么不换一换,他说没有必要.他的衣食住行都极为俭朴.当然俭朴并不是每一个科学家的性格,我认为我们仅从俭朴的角度上去认识黄先生只是一个方面,更深刻的是黄先生他心不在此.作官也好,发财也好,名利也好,这些都不会

动他的心,不会动他的感情,他心不在此.可是在业务上,在学术上,那怕是很小的事常常也会使他动心.

我举个小例子,50年前,1952年在北大物理系常有学术或教学报告.教授讲师助教都可七嘴八舌地自由议论,这是北大的传统.有一次黄先生讲表面张力.当时大家对表面张力都理解得比较笼统,没有搞清其机理.黄先生独到地、彻底地解决了这个问题.他把最基本之点讲清后,当时沈克琦先生针对插入水中的玻璃管四周的力学情况做了一个很完满的补充.黄先生听后,对坐在旁边的年轻教员说:“我如果能和沈克琦合作做研究那该多好”.当时他的表情是一种很动心的深思,我们从来没有在名利方面看到黄先生有这种神态.

由下面的事也可看到黄先生对名利的淡薄.黄先生获得中华人民共和国最高科学技术奖后,2002年2月1日在人大大会堂由江泽民主席颁奖.有无数鲜花和掌声,同时有很多贺电,其中杨振宁先生的祝贺电子邮件最得黄先生的心.

亲爱的黄昆:

朱邦芬寄给我他写的关于你的长文章.文章写得很好,我从中第一次知道你在英国和过去20年在中国物理研究上的详细情况.它确实令人印象深刻.

祝贺中国今天授予你的巨大的荣誉.我知道你的朋友和学生大概都为此而高兴,而你会不那么样的高兴.但是庆祝典礼毕竟是重要的,是有意义的.

祝你和李爱扶新年快乐!

杨振宁

亲爱的振宁：

谢谢你祝贺我获奖的邮件，恐怕我这一致谢来得太晚了。你已经正确地估计到我对这次获奖的感觉，你的评论促使我这些日子一直在思考。我想，无论是对我还是对我周围的人，我应该对我们所能做的一切更高兴一些，我开始注意到这一点。

我不知这是否就是你脑中所想的，不管怎样，想到这一点将有助于我。

你诚挚的黄昆

关于黄先生治学做人的事例不胜枚举。《黄昆——声子物理第一人》这本书会给我们很深刻的教育。我们每个人都可从中学到不少东西。因此，全国中学生物理竞赛委员会常委会决定，作为最有价值的奖品，将此书奖给本届全体参加决赛的同学每人一本。

此书大概是属于阳春白雪，在北京新华书店总店都买不到。这是我们竞委会副主任贾起民教授在上海找到科技出版社，要他们专程送到我们开会地点来的。

竞赛委员会已决定，第二十一届全国中学生物理竞赛将于2004年9月5日举行预赛，9月25日举行复赛的理论考试。10月16日到10月20日在重庆市举行决赛，由重庆市物理学会和重庆大学、重庆师范大学等单位承办。我代表全国中学生物理竞赛委员会预祝第二十一届全国中学物理竞赛能顺利地进行，并取得更好的成绩。

现在我宣布，第二十届全国中学生物理竞赛的决赛胜利闭幕。祝老师和同学们身体健康，一路顺风。谢谢大家！

2003年10月22日

第二十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 祁有龙 邵桂芳 贾起民 夏学江

梁竹健 喀兴林

委员:(按姓氏笔画排列)

马勇(重庆) 王玉英(河南) 王安华(基教司)

王秉超(吉林) 王松滨(内蒙古) 卞伯达(福建)

刘觉平(湖北) 刘聚成(陕西) 朱琼瑞(广东)

李子恒(北京) 李佛铨(江西) 李体莲(新疆)

李桂昌(山东) 匡乐满(湖南) 杜安(辽宁)

孟宪茹(西藏) 何希庆(山东) 张承璐(山东)

张继达(理科班) 汪勃(重庆) 陈潮红(宁夏)

陈树德(上海) 吴以勤(安徽) 吴祖仁(特邀)

杨世平(河北) 武钢(黑龙江) 周彩莺(浙江)

林红(海南) 罗里雄(广西) 咎钦明(甘肃)

唐新科(青海) 夏英齐(云南) 陶纯匡(重庆)

蒲昭明(贵州) 虞仲博(山西) 缪钟英(四川)

潘元胜(江苏) 霍晓宏(天津)

组织委员会名单

主任:展涛

常务副主任:李承俊

副主任:解士洁 陈光华

委员:尹传瑜 方宏建 王剑敏 徐向艺 郁建成

张显双 王蕴珊 何希庆 崔天杰 李桂昌

秘书长:张承璐

评奖组名单

沈克琦 丛树桐 贾起民 夏学江 喀兴林 孙煜

梁竹健 祁有龙 周玉芳 张承璐 何希庆 吴战明

徐建强 刘克哲 杨丕华 刘希明

获奖学生名单

一等奖(29名)

施焯明(理实班) 缪亚立(江苏) 王博(辽宁)

冯朗(湖北) 侯晗(四川) 刘莎(湖南)

林延光(辽宁) 郎瑞田(北京) 尹含韬(湖北)

王鹏(山东) 李晗晗(湖北) 高亢(吉林)

甄博(辽宁) 李川(河南) 韩冰(山东)

石璞成(浙江) 姜锐(北京) 史圣卿(湖南)

刘岩(黑龙江) 李真(江苏) 方力(广东)

王忆昶(四川) 肖思南(黑龙江) 邵昶魁(山东)

陈子冲(浙江) 李蛟(山东) 丁锐(理实班)

黄 贇(浙江) 陈崇毅(浙江)

二等奖(58名)

李明阳(天津)	李 栋(山西)	余江雷(湖北)
罗俊劼(江西)	李 安(天津)	周子尧(四川)
谢 睿(上海)	李 嘉(重庆)	张 定(四川)
范荣荣(江苏)	陈潇聪(广东)	孙斯纯(陕西女)
张广平(山西)	张炜煜(北京)	高 滨(天津)
杨牧之(山西)	庄桂春(安徽)	胡 杨(湖南)
朱家杰(江苏)	张 萌(山东)	汪 涵(北京)
陈良栋(广东)	刘守君(辽宁)	刘 琦(山东)
周喆颖(福建)	林 铭(福建)	苏俊杰(江苏)
吴迺璧(湖北)	刘志程(河北)	贾文豪(上海)
杨皓亮(湖南)	王鸣洋(黑龙江)	接钧靖(山东)
徐阳阳(安徽)	管晓寅(新疆)	丁 峰(河南)
范 悦(山西)	张廷楠(陕西)	曾 鹏(湖北)
李政言(吉林)	胡盈辉(河北)	吕迎辉(吉林)
王子远(北京)	罗雅枝(广西女)	卢云深(河南)
吴杰行(浙江)	苏铁晖(广西)	刘长泽(天津)
朱承亭(福建)	田 磊(山西)	李慧鹏(山东)
周宏超(理实班)	乔东斌(陕西)	陈 曦(理实班)
周益鸣(上海)	汪 曦(江西女)	刘乐乐(河南)
陈颀潇(辽宁)		

三等奖(83名)

张云亮(上海)	刘 成(河南)	温 灏(广东)
李一帆(山西)	许 钦(湖南)	黄 博(浙江)
谭 靖(广西)	张治草(重庆)	朱礞川(江西)
王 琮(北京)	马 颀(湖南)	孙占坤(河北)
箭庆辉(吉林)	张明瑞(黑龙江)	薛 鹰(甘肃)
熊 勇(四川)	林毅恒(福建)	蒋 明(江西)

张一帆(河南)	夏 鹏(陕西)	崔 嵬(山东)
曾祥宇(广西)	王 祥(安徽)	马 楠(甘肃)
计鹏飞(内蒙古)	沈 凝(上海)	李 毅(云南)
江普庆(贵州)	李 锐(河北)	王超龙(广东)
黄卓明(广东)	朱 茜(甘肃女)	王鹏远(安徽女)
阙志强(江苏)	戴明劼(理实班)	柴 筱(重庆)
蔡仁宇(海南)	温承华(福建)	刘 颖(理实班)
周长江(重庆)	魏 犇(陕西)	孙 鹏(黑龙江)
刘 康(吉林)	张 煦(河北)	崔定宇(重庆)
吴 浩(黑龙江)	田凯祺(河北)	曾弘毅(福建)
洪才富(海南)	张 鹤(天津)	陈睿智(内蒙古)
陈 辰(新疆)	曹敏政(贵州)	刘欣和(宁夏)
黄田帅(海南)	赵博通(内蒙古)	丁子敬(安徽)
马玉虎(辽宁)	杜文譔(甘肃)	曹学明(内蒙古)
程小科(贵州)	王 搏(贵州)	高学兵(新疆)
邱育米(海南)	黄俊灵(贵州)	陶媛媛(云南女)
黄仲生(海南)	张海波(新疆)	任 通(新疆)
陶啸森(云南)	罗 哲(江西)	郝亚敏(云南女)
高旭光(甘肃)	杨少林(宁夏)	王 翔(广西)
姜司原(吉林)	赵 磊(宁夏)	韩 钊(宁夏)
郭 瑞(内蒙古)	周 杨(云南)	马 金(青海)
雷有旭(青海)	莫 杨(青海女)	

单项奖

总成绩最佳奖:施焯明(理实班)

理论成绩最佳奖:高 亢(吉林)

实验成绩最佳奖:孙斯纯(陕西女)

女学生成绩最佳奖:孙斯纯(陕西女)

第二十届全国中学生物理竞赛

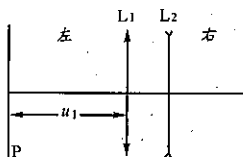
试题及参考解答

预赛试题及参考解答

· 试题 ·

全卷共七题,总分为 140 分.

一、(20分) 两个薄透镜 L_1 和 L_2 共轴放置,如图预 20-1 所示. 已知 L_1 的焦距 $f_1 = f$, L_2 的焦距 $f_2 = -f$, 两透镜间距离也是 f . 小物体位于物面 P 上,物距 $u_1 = 3f$.



图预 20-1

1. 小物体经这两个透镜所成的像在 L_2 的 _____ 边,到 L_2 的距离为 _____,是 _____ 像(虚或实)、_____ 像(正或到),放大率为 _____.

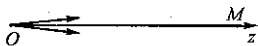
2. 现在把两透镜位置调换,若还要使给定的原物体在原像处成像,两透镜作为整体应沿光轴向 _____ 边移动距离 _____. 这个新的像是 _____ 像(虚或实)、_____ 像(正或倒),放大率为 _____.

二、(20分) 一个氢放电管发光,在其光谱中测得一条谱线的波长为 $4.86 \times 10^{-7} \text{ m}$. 试计算这是氢原子中电子从哪一个能级及向哪一个能级(用量子数 n 表示) 跃迁时发出的? 已知氢原子基态($n = 1$) 的能量为 $E_1 = -13.6 \text{ eV} = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$, 普朗克常量为 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

三、(20分) 在野外施工中,需要使质量 $m = 4.20 \text{ kg}$ 的铝合金构件升温. 除了保温瓶中尚存有温度 $t = 90.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 的 1.200 kg

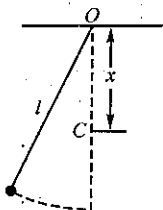
的热水外,无其他热源.试提出一个操作方案,能利用这些热水使构件从温度 $t_0 = 10.0\text{ }^\circ\text{C}$ 升温到 $66.0\text{ }^\circ\text{C}$ 以上(含 $66.0\text{ }^\circ\text{C}$),并通过计算验证你的方案.已知铝合金的比热容 $c = 0.880 \times 10^3\text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,水的比热容 $c_0 = 4.20 \times 10^3\text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,不计向周围环境散失的热量.

四、(20分)从 z 轴上的 O 点发射一束电量为 $q (> 0)$ 、质量为 m 的带电粒子,它们速度的方向分布在以 O 点为顶点、 z 轴为对称轴的一个顶角很小的锥体内(图预 20-4),速度的大小都等于 v . 试设计一种匀强磁场,能使这束带电粒子会聚于 z 轴上的另一点 M , M 点离开 O 点的距离为 d . 要求给出该磁场的方向、磁感应强度的大小和最小值. 不计粒子间的相互作用和重力的作用.



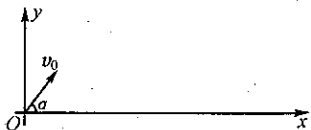
图预 20-4

五、(20分)有一个摆长为 l 的摆(摆球可视 为质点,摆线的质量不计),在过悬挂点的竖 直线上距悬挂点 O 的距离为 x 处 ($x < l$) 的 C 点 有一固定的钉子,如图预 20-5 所示.当摆摆动 时,摆线会受到钉子的阻挡.当 l 一定而 x 取不 同值时,阻挡后摆球的运动情况将不同.现将摆 拉到位于竖直线的左方(摆球的高度不超过 O 点),然后放手,令其自由摆动,如果摆线被钉子阻挡后,摆球恰 巧能够击中钉子,试求 x 的最小值.



图预 20-5

六、(20分)质量为 M 的运动员 手持一质量为 m 的物块,以速率 v_0 沿与水平面成 α 角的方向向前跳跃 (图预 20-6).为了能跳得更远一



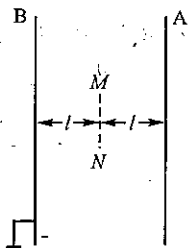
图预 20-6

点,运动员可在跳远全过程中的某一位置处,沿某一方向把物块抛出.物块抛出时相对运动员的速度的大小 u 是给定的,物块抛出后,物块和运动员都在同一竖直平面内运动.

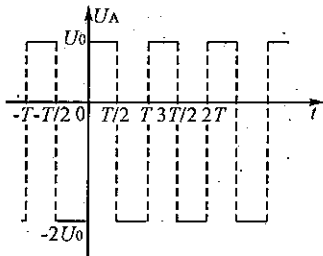
1.若运动员在跳远的全过程中的某时刻 t_0 把物块沿与 x 轴负方向成 θ 角的方向抛出,求运动员从起跳到落地所经历的时间.

2.在跳远的全过程中,运动员在何处把物块沿与 x 轴负方向成 θ 角的方向抛出,能使自己跳得更远?若 v_0 和 u 一定,在什么条件下可跳得更远?并求出运动员跳的最大距离.

七、(20分) 图预 20-7-1 中 A 和 B 是真空中两块面积很大的平行金属板,加上周期为 T 的交流电压,在两板间产生交变的匀强电场.已知 B 板电势为零, A 板电势 U_A 随时间变化的规律,如图预 20-7-2 所示,其中 U_A 的最大值为 U_0 ,最小值为 $-2U_0$.在图预 20-7-1 中,虚线 MN 表示与 A、B 板平行等距的一个较小的面,此面到 A 和 B 的距离皆为 l .在此面所在处,不断



图预 20-7-1



图预 20-7-2

地产生电量为 q 、质量为 m 的带负电的微粒,各个时刻产生带电微粒的机会均等.这种微粒产生后,从静止出发在电场力的作用下运动.设微粒一旦碰到金属板,它就附在板上不再运动,且其电量同时消失,不影响 A、B 板的电压.已知上述的 T 、 U_0 、 l 、 q 和

m 等各量的值正好满足等式

$$l^2 = \frac{3}{16} \frac{U_0 q}{2m} \left(\frac{T}{2} \right)^2$$

若在交流电压变化的每个周期 T 内, 平均产生 320 个上述微粒, 试论证在 $t = 0$ 到 $t = T/2$ 这段时间内产生的微粒中, 有多少微粒可到达 A 板(不计重力, 不考虑微粒之间的相互作用).

· 参考解答 ·

一、

1. 右, f , 实, 倒, 1. 2. 左, $2f$, 实, 倒, 1.

二、

波长 λ 与频率 ν 的关系为

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

光子的能量为

$$E_\nu = h\nu \quad (2)$$

由式(1)、(2) 可求得产生波长 $\lambda = 4.86 \times 10^{-7} \text{ m}$ 谱线的光子的能量

$$E_\nu = 4.09 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (3)$$

氢原子的能级能量为负值并与电子数 n 的平方成反比

$$E_n = -k \frac{1}{n^2} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4)$$

式中 k 为正的比例常数. 氢原子基态的量子数 $n = 1$, 基态能量 E_1 已知, 由式(4) 可得出

$$k = -E_1 \quad (5)$$

把式(5) 代入式(4), 便可求得氢原子的 $n = 2, 3, 4, 5, \dots$ 各能级的能量, 它们是

$$E_2 = -\frac{1}{2^2}k = -5.45 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_3 = -\frac{1}{3^2}k = -2.42 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_4 = -\frac{1}{4^2}k = -1.36 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_5 = -\frac{1}{5^2}k = -8.72 \times 10^{-20} \text{ J}$$

比较以上数据,发现

$$E_5 - E_2 = 4.09 \times 10^{-19} \text{ J}$$

所以,这条谱线是电子从 $n = 4$ 的能级跃迁到 $n = 2$ 的能级时发出的。

三、

1. 操作方案:将保温瓶中 $t = 90.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 的热水分若干次倒出来。第一次先倒出一部分,与温度为 $t_0 = 10.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 的构件充分接触,并达到热平衡,构件温度已升高到 t_1 ,将这部分温度为 t_1 的水倒掉。再从保温瓶倒出一部分热水,再次与温度为 t_1 的构件充分接触,并达到热平衡,此时构件温度已升高到 t_2 ,再将这些温度为 t_2 的水倒掉。然后再从保温瓶倒出一部分热水来使温度为 t_2 的构件升温……直到最后一次,将剩余的热水全部倒出来与构件接触,达到热平衡。只要每部分水的质量足够小,最终就可使构件的温度达到所要求的值。

2. 验证计算:例如,将 1.200 kg 热水分5次倒出来,每次倒出 $m_0 = 0.240 \text{ kg}$,在第一次使热水与构件达到热平衡的过程中,水放热为

$$Q_1 = c_0 m_0 (t - t_1) \quad (1)$$

构件吸热为

$$Q_1' = cm(t_1 - t_0) \quad (2)$$

由 $Q_1 = Q_1'$ 及题给的数据, 可得

$$t_1 = 27.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

同理, 第二次倒出 0.240 kg 热水后, 可使构件升温到

$$t_2 = 40.6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

依次计算出 $t_1 \sim t_5$ 的数值, 分别列在下表中.

倒水次数	1	2	3	4	5
平衡温度 / $^\circ\text{C}$	27.1	40.6	51.2	59.5	66.0

可见 $t_5 = 66.0 \text{ } ^\circ\text{C}$, 符合要求.

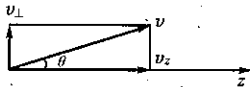
附: 若将 1.200 kg 热水分 4 次倒, 每次倒出 0.300 kg, 依次算出 $t_1 \sim t_4$ 的数值, 如下表中的数据.

倒水次数	1	2	3	4
平衡温度 / $^\circ\text{C}$	30.3	45.50	56.8	65.2

由于 $t_4 = 65.2 \text{ } ^\circ\text{C} < 66.0 \text{ } ^\circ\text{C}$, 所以如果将热水等分后倒到构件上, 则倒出次数不能少于 5 次.

四、

设计的磁场为沿 z 轴方向的匀强磁场, O 点和 M 点都处于这个磁场中. 下面我们根据题意求出这种磁场的磁感应强度的大小. 粒子由 O 点射出就进入了磁



图预解 20-4-1

场, 可将与 z 轴成 θ 角的速度分解成沿磁场方向的分速度 v_z 和垂直于磁场方向的分速度 v_{\perp} (图预解 20-4-1), 注意到 θ 很小, 得

$$v_z = v \cos \theta \approx v \quad (1)$$

$$v_{\perp} = v \sin \theta \approx v \theta \quad (2)$$

粒子因具有垂直磁场方向的分速度, 在洛伦兹力作用下做圆周运动. 以 R 表示圆周的半径, 有

$$qBv_{\perp} = m \frac{v_{\perp}^2}{R}$$

圆周运动的周期

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}}$$

由此得

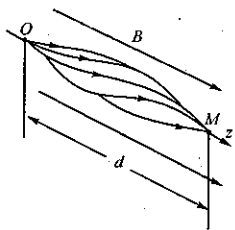
$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (3)$$

可见周期与速度分量 v_{\perp} 无关。

粒子因具有沿磁场方向的分速度, 将沿磁场方向做匀速直线运动. 由于两种分速度同时存在, 粒子将沿磁场方向做螺旋运动. 螺旋运动螺距为

$$h = v_z T = vT \quad (4)$$

由于它们具有相同的 v , 因而也就具有相同的螺距; 又由于这些粒子是从同一点射出的, 所以经过整数个螺距 (最小是一个螺距) 又必定会聚于同一点. 只要使 OM 等于一个螺距或一个螺距的 n (整数) 倍, 由 O 点射出的粒子绕磁场方向旋转一周 (或若干周后) 必定会聚于 M 点, 如图预解 20-4-2 所示. 所以



图预解 20-4-2

$$d = nh \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

由式(3)、(4)、(5) 解得

$$B = \frac{2\pi mn}{qd} \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

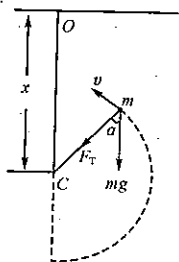
这就是所要求磁场的磁感应强度的大小, 最小值应取 $n = 1$, 所以磁感应强度的最小值为

$$B = \frac{2\pi mv}{qd} \quad (7)$$

五、

摆线受阻后在一段时间内摆球做圆周运动,若摆球的质量为 m ,则摆球受重力 mg 和摆线拉力 F_T 的作用,设在这段时间内任一时刻的速度为 v ,如图预解20-5所示.用 α 表示此时摆线与重力方向之间的夹角,则有方程式

$$F_T + mg \cos \alpha = \frac{mv^2}{l-x} \quad (1)$$



图预解 20-5

运动过程中机械能守恒,令 θ 表示摆线在起始位置时与竖直方向的夹角,取 O 点为势能零点,则有关系

$$-mgl \cos \theta = \frac{1}{2}mv^2 - mg[x - (l-x)\cos \alpha] \quad (2)$$

摆受阻后,如果后来摆球能击中钉子,则必定在某位置时摆线开始松弛,此时 $F_T = 0$,此后摆球仅在重力作用下做斜抛运动.设在该位置时摆球速度 $v = v_0$,摆线与竖直线的夹角 $\alpha = \alpha_0$,由式(1)得

$$v_0^2 = g(l-x)\cos \alpha_0 \quad (3)$$

代入式(2),求出

$$2l \cos \theta = 3(x-l)\cos \alpha_0 + 2x \quad (4)$$

要求做斜抛运动的摆球击中 C 点,则应满足下列关系式

$$(l-x)\sin \alpha_0 = v_0 t \cos \alpha_0 \quad (5)$$

$$(l-x)\cos \alpha_0 = -v_0 t \sin \alpha_0 + \frac{1}{2}gt^2 \quad (6)$$

利用式(5)和式(6)消去 t ,得到

$$v_0^2 = \frac{g(l-x)\sin^2 \alpha_0}{2\cos \alpha_0} \quad (7)$$

由式(3)、(7)得到

$$\cos\alpha_0 = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad (8)$$

代入式(4), 求出

$$\theta = \arccos\left[\frac{x(2 + \sqrt{3}) - l\sqrt{3}}{2l}\right] \quad (9)$$

θ 越大, $\cos\theta$ 越小, x 越小, θ 最大值为 $\pi/2$, 由此可求得 x 的最小值

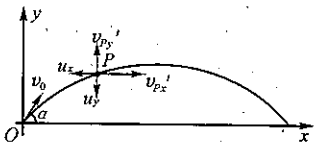
$$x(2 + \sqrt{3}) = \sqrt{3}l$$

所以

$$x = (2\sqrt{3} - 3)l = 0.464l \quad (10)$$

六、

1. 规定运动员起跳的时刻为 $t = 0$, 设运动员在 P 点(图预解 20-6) 抛出物块. 以 t_0 表示运动员到达 P 点的时刻, 则运动员在 P 点的坐标 x_P 、 y_P 和抛物前的速度 v 的分量 v_{Px} 、 v_{Py} 分别为



图预解 20-6

$$v_{Px} = v_0 \cos\alpha \quad (1)$$

$$v_{Py} = v_0 \sin\alpha - gt_0 \quad (2)$$

$$x_P = v_0 t_0 \cos\alpha \quad (3)$$

$$y_P = v_0 t_0 \sin\alpha - \frac{1}{2} g t_0^2 \quad (4)$$

设在刚抛出物块后的瞬间, 运动员的速度 v' 的分量大小分别为 v'_{Px} 、 v'_{Py} , 物块相对运动员的速度 u 的分量大小分别为 u_x 、 u_y , 方向分别沿负 x 、负 y 方向. 由动量守恒定律可知

$$Mv'_{Px} + m(v'_{Px} - u_x) = (M + m)v_{Px} \quad (5)$$

$$Mv_{Py}' + m(v_{Py}' - u_y) = (M + m)v_{Py} \quad (6)$$

因 u 的方向与 x 轴负方向的夹角为 θ , 故有

$$u_x = u \cos \theta \quad (7)$$

$$u_y = u \sin \theta \quad (8)$$

解式(1)、(2)、(5)、(6)和式(7)、(8), 得

$$v_{Px}' = v_0 \cos \alpha + \frac{mu \cos \theta}{M + m} \quad (9)$$

$$v_{Py}' = v_0 \sin \alpha - gt_0 + \frac{mu \sin \theta}{M + m} \quad (10)$$

抛出物块后, 运动员从 P 点开始沿新的抛物线运动, 其初速度为 v_{Px}' 、 v_{Py}' . 在 t 时刻 ($t > t_0$) 运动员的速度和位置为

$$v_x' = v_{Px}' \quad (11)$$

$$v_y' = v_{Py}' - g(t - t_0) \quad (12)$$

$$x = x_P + v_{Px}'(t - t_0) = \left(v_0 \cos \alpha + \frac{mu_x}{M + m} \right) t - \frac{mu_x}{M + m} t_0 \quad (13)$$

$$y = y_P + v_{Py}'(t - t_0) - \frac{1}{2} g(t - t_0)^2 \quad (14)$$

由式(3)、(4)、(9)、(10)、(13)、(14), 可得

$$x = \left(v_0 \cos \alpha + \frac{mu \cos \theta}{M + m} \right) t - \frac{mu \cos \theta}{M + m} t_0 \quad (15)$$

$$y = 2 \left(v_0 \sin \alpha + \frac{mu \sin \theta}{M + m} \right) t - gt^2 - \frac{2mu \sin \theta}{M + m} t_0 \quad (16)$$

运动员落地时

$$y = 0$$

由式(16)得

$$gt^2 - 2 \left(v_0 \sin \alpha + \frac{mu \sin \theta}{M + m} \right) t + \frac{2mu \sin \theta}{M + m} t_0 = 0 \quad (17)$$

方程的根为

$$t =$$

$$\frac{v_0 \sin \alpha + \frac{m \sin \theta}{M+m} \pm \sqrt{\left(v_0 \sin \alpha + \frac{m \sin \theta}{M+m}\right)^2 - 2g \frac{m \sin \theta}{M+m} t_0}}{g} \quad (18)$$

式(18)给出的两个根中,只有当“±”号取“+”才符合题意,因为从式(12)和式(10),可求出运动员从P点到最高点的时间为

$$\frac{v_0 \sin \alpha + \frac{m \sin \theta}{M+m}}{g}$$

而从起跳到落地所经历的时间应比上面给出的时间大,故从起跳到落地所经历的时间为

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha + \frac{m \sin \theta}{M+m} + \sqrt{\left(v_0 \sin \alpha + \frac{m \sin \theta}{M+m}\right)^2 - 2g \frac{m \sin \theta}{M+m} t_0}}{g} \quad (19)$$

2. 由式(15)可以看出, t 越大, t_0 越小, 跳的距离 x 越大. 由式(19)可以看出, 当

$$t_0 = 0$$

时, t 的值最大, 由式(3)和式(4)可知, 抛出物块处的坐标为

$$x_P = 0 \quad y_P = 0 \quad (20)$$

即应在原点亦即在刚起跳时把物块抛出, 运动员可跳得远一点. 由式(19)可以得到运动员自起跳至落地所经历的时间为

$$T = 2 \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + 2 \frac{m}{M+m} \frac{u \sin \theta}{g}$$

把 $t_0 = 0$ 和 $t = T$ 代入式(15), 可求得跳远的距离, 为

$$x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} + \frac{2mv_0 u}{(M+m)g} \sin(\theta + \alpha) + \frac{m^2 u^2}{(M+m)^2 g} \sin 2\theta \quad (21)$$

可见, 若

$$\sin 2\alpha = 1 \quad \sin(\theta + \alpha) = 1 \quad \sin 2\theta = 1$$

即

$$\alpha = \frac{\pi}{4} \quad \theta = \frac{\pi}{4} \quad (22)$$

时, x 有最大值, 即沿与 x 轴成 45° 方向跳起, 且跳起后立即沿与负 x 轴成 45° 方向抛出物块, 则 x 有最大值, 此最大值为

$$x_m = \frac{v_0^2}{g} + \frac{2mv_0u}{(M+m)g} + \frac{m^2u^2}{(M+m)^2g} \quad (23)$$

七、

在电压为 U_0 时, 微粒所受电场力为 $U_0q/2l$, 此时微粒的加速度为 $a_0 = U_0q/2lm$. 将此式代入题中所给的等式, 可将该等式变为

$$l = \frac{3}{16} a_0 \left(\frac{T}{2} \right)^2 \quad (1)$$

现在分析从 0 到 $T/2$ 时间内, 何时产生的微粒在电场力的作用下能到达 A 板, 然后计算这些微粒的数目.

在 $t = 0$ 时产生的微粒, 将以加速度 a_0 向 A 板运动, 经 $T/2$ 后, 移动的距离 x 与式(1) 相比, 可知

$$x = \frac{1}{2} a_0 \left(\frac{T}{2} \right)^2 > l \quad (2)$$

即 $t = 0$ 时产生的微粒, 在不到 $T/2$ 时就可以到达 A 板. 在 $U_A = U_0$ 的情况下, 设刚能到达 A 板的微粒是产生在 $t = t_1$ 时刻, 则此微粒必然是先被电压 U_0 加速一段时间 Δt_1 , 然后再被电压 $-2U_0$ 减速一段时间, 到 A 板时刚好速度为零. 用 d_1 和 d_2 分别表示此两段时间内的位移, v_1 表示微粒在 Δt_1 内的末速, 也等于后一段时间的初速, 由匀变速运动公式应有

$$d_1 = \frac{1}{2} a_0 (\Delta t_1)^2 \quad (3)$$

$$0 = v_1^2 + 2(-2a_0)d_2 \quad (4)$$

又有

$$v_1 = a_0 \Delta t_1 \quad (5)$$

$$d_1 + d_2 = l \quad (6)$$

$$t_1 + \Delta t_1 = \frac{T}{2} \quad (7)$$

由式(3)到式(7)及式(1),可解得

$$t_1 = \frac{T}{4} \quad (8)$$

这就是说,在 $U_A = U_0$ 的情况下,从 $t = 0$ 到 $t = T/4$ 这段时间内产生的微粒都可到达 A 板(确切地说,应当是 $t < T/4$).

为了讨论在 $T/4 < t \leq T/2$ 这段时间内产生的微粒的运动情况,先设想有一静止粒子在 A 板附近,在 $U_A = -2U_0$ 电场作用下,由 A 板向 B 板运动,若到达 B 板经历的时间为 τ ,则有

$$2l = \frac{1}{2}(2a_0)\tau^2$$

根据式(1)可求得

$$\tau = \sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{4} T$$

由此可知,凡位于 MN 到 A 板这一区域中的静止微粒,如果它受 $U = -2U_0$ 的电场作用时间大于 τ ,则这些微粒都将到达 B 板.

在 $t = T/4$ 发出的微粒,在 $U_A = U_0$ 的电场作用下,向 A 板加速运动,加速的时间为 $T/4$,接着在 $U_A = -2U_0$ 的电场作用下减速,由于减速时的加速度为加速时的两倍,故经过 $T/8$ 微粒速度减为零.由此可知微粒可继续在 $U_A = -2U_0$ 的电场作用下向 B 板运动的时间为

$$\tau_1 = \frac{1}{2}T - \frac{1}{8}T = \frac{3}{8}T = \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{4}T$$

由于 $\tau_1 > \tau$, 故在 $t = T/4$ 时产生的微粒最终将到达 B 板(确切地说, 应当是 $t < T/4$), 不会再回到 A 板.

在 t 大于 $T/4$ 但小于 $T/2$ 时间内产生的微粒, 被 $U_A = U_0$ 的电场加速的时间小于 $T/4$, 在 $U_A = -2U_0$ 的电场作用下速度减到零的时间小于 $t = T/8$, 故可在 $U_A = -2U_0$ 的电场作用下向 B 板运动时间为

$$\tau' > \frac{1}{2}T - \frac{1}{8}T = \tau_1$$

所以这些微粒最终都将打到 B 板上, 不可能再回到 A 板.

由以上分析可知, 在 $t = 0$ 到 $t = T/2$ 时间内产生的微粒中, 只有在 $t = 0$ 到 $t = T/4$ 时间内产生的微粒能到达 A 板, 因为各个时刻产生带电微粒的机会均等, 所以到达 A 板的微粒数为

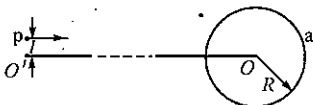
$$N = 320 \times \frac{1}{4} = 80 \quad (9)$$

复赛理论试题及参考解答

· 试题 ·

共七题,总分为 140 分.

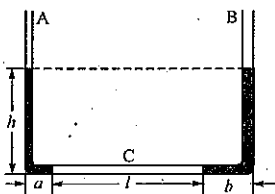
一、(15分)如图复 20-1 所示, a 为一固定放置的半径为 R 的均匀带电球体, O 为其球心. 已知取无限远处的电势为零时, 球表面处的电势为 $U = 1000 \text{ V}$. 在离球心 O 很远的



图复 20-1

的 O' 点附近有一质子 p, 它以 $E_k = 2000 \text{ eV}$ 的动能沿与 $O'O$ 平行的方向射向 a. 以 l 表示 p 与 $O'O$ 线之间的垂直距离, 要使质子 p 能够与带电球体 a 的表面相碰, 试求 l 的最大值. 把质子换成电子, 再求 l 的最大值.

二、(15分)U形管的两支管 A、B 和水平管 C 都是由内径均匀的细玻璃管做成的, 它们的内径与管长相比都可忽略不计. 已知三部分的截面积分别为 $S_A = 1.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$, $S_B = 3.0 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$, $S_C = 2.0 \times$

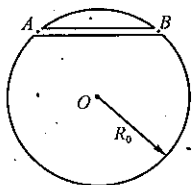


图复 20-2

10^{-2} cm^2 . 在 C 管中有一段空气柱, 两侧被水银封闭. 当温度为 $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 空气柱长为 $l = 30 \text{ cm}$ (图复 20-2), C 中气柱两侧的水银柱长分别为 $a = 2.0 \text{ cm}$, $b = 3.0 \text{ cm}$, A、B 两支管都很长, 其中的水银柱高均为 $h = 12 \text{ cm}$. 大气压强保持为 $p_0 = 101325 \text{ Pa}$ (合 76 cmHg 柱) 不变. 不考虑温度变化时管和水银的热膨胀. 试求气柱中空气温度缓慢升高到 $t = 97 \text{ }^\circ\text{C}$ 时空气的体积.

三、(20分)有人提出了一种不用火箭发射人造地球卫星的

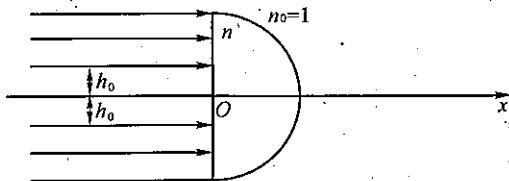
设想.其设想如下:沿地球的一条弦挖一通道,如图复 20-3 所示.在通道的两个出口处 A 和 B ,分别将质量为 M 的物体和质量为 m 的待发射卫星同时自由释放,只要 M 比 m 足够大,碰撞后,质量为 m 的物体,即待发射的卫星就会从通道



图复 20-3

口 B 冲出通道;设待发卫星上有一种装置,在待发卫星刚离开出口 B 时,立即把待发卫星的速度方向变为沿该处地球切线的方向,但不改变速度的大小.这样待发卫星便有可能绕地心运动,成为一个人造卫星.若人造卫星正好沿地球表面绕地心做圆周运动,则地心到该通道的距离为多少?已知 $M = 20m$,地球半径 $R_0 = 6400 \text{ km}$.假定地球是质量均匀分布的球体,通道是光滑的,两物体间的碰撞是弹性的.

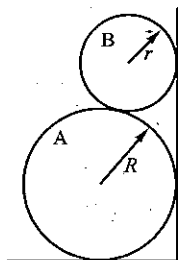
四、(20分)如图复 20-4 所示,一半径为 R 、折射率为 n 的玻璃半球,放在空气中,平表面中央半径为 h_0 的区域被涂黑.一平行光束垂直入射到此平面上,正好覆盖整个表面. Ox 为以球心 O 为原点,与平面垂直的坐标轴.通过计算,求出坐标轴 Ox 上玻璃半球右边有光线通过的各点(有光线段)和无光线通过的各点(无光线段)的分界点的坐标.



图复 20-4

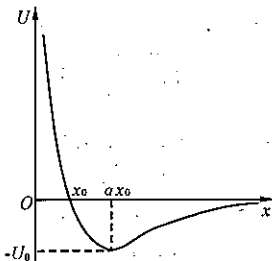
五、(22分)有一半径为 R 的圆柱 A ,静止在水平地面上,并

与竖直墙面相接触. 现有另一质量与 A 相同; 半径为 r 的较细圆柱 B. 用手扶着圆柱 A, 将 B 放在 A 的上面, 并使之与墙面相接触, 如图复 20-5 所示, 然后放手.



图复 20-5

已知圆柱 A 与地面之间的静摩擦系数为 0.20, 两圆柱之间的静摩擦系数为 0.30. 若放手后, 两圆柱体能保持图示的平衡, 问圆柱 B 与墙面间的静摩擦系数和圆柱 B 的半径 r 的值各应满足什么条件?

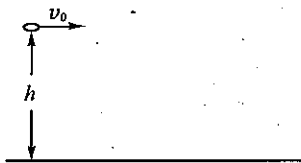


图复 20-6

六、(23 分) 两个点电荷位于 x 轴上, 在它们形成的电场中, 若取无限远处的电势为零, 则在正 x 轴上各点的电势如图复 20-6 中曲线所示, 当 $x \rightarrow 0$ 时, 电势 $U \rightarrow \infty$; 当 $x \rightarrow \infty$ 时, 电势 $U \rightarrow 0$; 电势为零的点的坐标为 x_0 , 电势为极小值 $-U_0$ 的点的坐标为 αx_0 ($\alpha > 2$). 试根据

图线提供的信息, 确定这两个点电荷所带电荷的符号、电量的大小以及它们在 x 轴上的位置.

七、(25 分) 如图复 20-7 所示, 将一铁饼状小物块在离地面高为 h 处沿水平方向以初速 v_0 抛出. 已知物块碰地弹起时沿竖直方向的分速度的大小与碰前沿竖直方向的分速度的大小之比为 e ($e < 1$). 又知沿水



图复 20-7

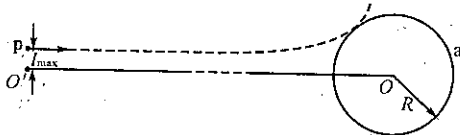
平方向物块与地面之间的滑动摩擦系数为 μ ($\neq 0$); 每次碰撞过程的时间都非常短, 而且都是“饼面”着地. 求物块沿水平方向

运动的最远距离.

· 参考解答 ·

一、
令 m 表示质子的质量, v_0 和 v 分别表示质子的初速度和到达 a 球球面处的速度, e 表示元电荷, 由能量守恒可知

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + eU \quad (1)$$



图复解 20-1-1

因为 a 不动, 可取其球心 O 为原点, 由于质子所受的 a 球对它的静电库仑力总是通过 a 球的球心, 所以此力对原点的力矩始终为零, 质子对 O 点的角动量守恒. 所求 l 的最大值对应于质子到达 a 球表面处时其速度方向刚好与该处球面相切(图复解 20-1-1). 以 l_{\max} 表示 l 的最大值, 由角动量守恒有

$$m v_0 l_{\max} = m v R \quad (2)$$

由式(1)、(2) 可得

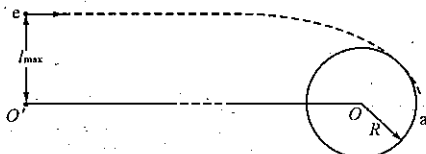
$$l_{\max} = \sqrt{1 - \frac{eU}{m v_0^2 / 2}} R \quad (3)$$

代入数据, 可得

$$l_{\max} = \frac{\sqrt{2}}{2} R \quad (4)$$

若把质子换成电子, 则如图复解 20-1-2 所示, 此时式(1)中 e 改为 $-e$. 同理可求得

$$l_{\max} = \frac{\sqrt{6}}{2} R \quad (5)$$



图复解 20-1-2

二、

在温度为 $T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ 时, 气柱中的空气的压强和体积分别为

$$p_1 = p_0 + h \quad (1)$$

$$V_1 = lS_C \quad (2)$$

当气柱中空气的温度升高时, 气柱两侧的水银将被缓慢压入 A 管和 B 管. 设温度升高到 T_2 时, 气柱右侧水银刚好全部压到 B 管中, 使管中水银高度增大

$$\Delta h = \frac{bS_C}{S_B} \quad (3)$$

由此造成气柱中空气体积的增大量为

$$\Delta V' = bS_C \quad (4)$$

与此同时, 气柱左侧的水银也有一部分进入 A 管, 进入 A 管的水银使 A 管中的水银高度也应增大 Δh , 使两支管的压强平衡, 由此造成气柱空气体积增大量为

$$\Delta V'' = \Delta h S_A \quad (5)$$

所以, 当温度为 T_2 时, 空气的体积和压强分别为

$$V_2 = V_1 + \Delta V' + \Delta V'' \quad (6)$$

$$p_2 = p_1 + \Delta h \quad (7)$$

由状态方程知

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (8)$$

由以上各式,代入数据可得

$$T_2 = 347.7 \text{ K} \quad (9)$$

此值小于题给的最终温度 $T = (273 + t/^\circ\text{C}) \text{ K} = 370 \text{ K}$, 所以温度将继续升高. 从这时起, 气柱中的空气作等压变化. 当温度到达 T 时, 气柱体积为

$$V = \frac{T}{T_2} V_2 \quad (10)$$

代入数据可得

$$V = 0.72 \text{ cm}^3 \quad (11)$$

三、

位于通道内、质量为 m 的物体距地心 O 为 r 的 P 点(图复解 20-3) 时, 它受到地球的引力可以表示为

$$F = \frac{GM'm}{r^2} \quad (1)$$

式中 M' 是以地心 O 为球心、以 r 为半径的球体所对应的那部分地球的质量, 若以 ρ 表示地球的密度, 此质量可以表示为

$$M' = \frac{4}{3} \rho \pi r^3 \quad (2)$$

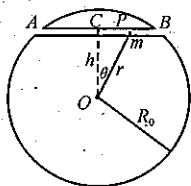
于是, 质量为 m 的物体所受地球的引力可以改写为

$$F = \frac{4}{3} \pi G \rho m r \quad (3)$$

作用于质量为 m 的物体的引力在通道方向的分力的大小为

$$F' = F \sin \theta \quad (4)$$

$$\sin \theta = \frac{x}{r} \quad (5)$$



图复解 20-3

θ 为 r 与通道的中垂线 OC 间的夹角, x 为物体位置到通道中点 C 的距离, 力 F' 的方向指向通道的中点 C . 在地面上物体的重力可以表示为

$$mg = \frac{GM_0 m}{R_0^2} \quad (6)$$

式中 M_0 是地球的质量. 由上式可以得到

$$g = \frac{4}{3} \pi G \rho R_0 \quad (7)$$

由以上各式可以求得

$$F' = \frac{mg}{R_0} x \quad (8)$$

可见, F' 与弹簧的弹力有同样的性质, 相应的“劲度系数”为

$$F' = \frac{mg}{R_0} \quad (9)$$

物体将以 C 为平衡位置做简谐振动, 振动周期 $T = 2\pi\sqrt{R_0/g}$. 取 $x = 0$ 处为“弹力势能”的零点, 设位于通道出口处的质量为 m 的静止物体到达 $x = 0$ 处的速度为 v_0 , 则根据能量守恒, 有

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} k (R_0^2 - h^2) \quad (10)$$

式中 h 表示地心到通道的距离, 解以上有关各式, 得

$$v_0^2 = \frac{R_0^2 - h^2}{R_0} g \quad (11)$$

可见, 到达通道中点 C 的速度与物体的质量无关.

设想让质量为 M 的物体静止于出口 A 处, 质量为 m 的物体静止于出口 B 处, 现将它们同时释放, 因为它们的振动周期相同, 故它们将同时到达通道中点 C 处, 并发生弹性碰撞. 碰撞前, 两物体速度的大小都是 v_0 , 方向相反, 刚碰撞后, 质量为 M 的物体的速度为 v' , 质量为 m 的物体的速度为 v , 若规定速度方向由 A 向 B 为正, 则有

$$Mv_0 - mv_0 = Mv' + mv \quad (12)$$

$$\frac{1}{2}Mv_0'^2 + \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}Mv'^2 + \frac{1}{2}v^2 \quad (13)$$

解式(12)和式(13),得

$$v = \frac{3M - m}{M + m}v_0 \quad (14)$$

质量为 m 的物体是待发射的卫星,令它回到通道出口 B 处时的速度为 u ,则有

$$\frac{1}{2}k(R_0^2 - h^2) + \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}mv^2 \quad (15)$$

由式(14)、(15)、(16)和式(9)解得

$$u^2 = \frac{8M(M - m)}{(M + m)^2} \frac{R_0^2 - h^2}{R_0} g \quad (16)$$

u 的方向沿着通道。根据题意,卫星上的装置可使 u 的方向改变成沿地球 B 处的切线方向,如果 u 的大小恰能使小卫星绕地球做圆周运动,则有

$$G \frac{M_0 m}{R_0^2} = m \frac{u^2}{R_0} \quad (17)$$

由式(16)、(17)并注意到式(6),可以得到

$$h = \frac{R_0}{2} \sqrt{\frac{7M^2 - 10Mm - m^2}{2M(M - m)}} \quad (18)$$

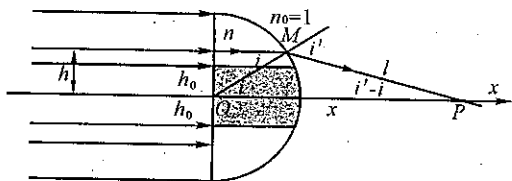
已知 $M = 20m$, 则得

$$h = 0.925R_0 = 5920 \text{ km} \quad (19)$$

四、

图复解 20-4-1 中画出的是进入玻璃半球的任一光线的光路(图中阴影处是无光线进入的区域),光线在球面上的入射角和折射角分别为 i 和 i' ,折射光线与坐标轴交在 P 点。令轴上 OP 的距离为 x , MP 的距离为 l ,根据折射定律,有

$$\frac{\sin i'}{\sin i} = n \quad (1)$$



图复解 20-4-1

在 $\triangle OMP$ 中

$$\frac{l}{\sin i} = \frac{x}{\sin i'} \quad (2)$$

$$l^2 = R^2 + x^2 - 2Rx \cos i \quad (3)$$

由式(1)和式(2)得

$$x = nl$$

再由式(3)得

$$x^2 = n^2(R^2 + x^2 - 2Rx \cos i)$$

设 M 点到 Ox 轴的距离为 h , 有

$$h = R \sin i$$

$$R \cos i = \sqrt{R^2 - R^2 \sin^2 i} = \sqrt{R^2 - h^2}$$

得

$$\frac{x^2}{n^2} = R^2 + x^2 - 2x \sqrt{R^2 - h^2}$$

$$x^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) - 2x \sqrt{R^2 - h^2} + R^2 = 0 \quad (4)$$

解式(4)可得

$$x = \frac{n^2 \sqrt{R^2 - h^2} \pm n \sqrt{R^2 - n^2 h^2}}{n^2 - 1} \quad (5)$$

为排除上式中应舍弃的解,令 $h \rightarrow 0$, 则 x 处应为玻璃半球在光轴 Ox 上的傍轴焦点, 由上式

$$x \rightarrow \frac{n(n \pm 1)}{n^2 - 1} R = \frac{n}{n-1} R \text{ 或 } \frac{n}{n+1} R$$

由图可知, 应有 $x > R$, 故式(5)中应排除 \pm 号中的负号, 所以 x 应表示为

$$x = \frac{n^2 \sqrt{R^2 - h^2} + n \sqrt{R^2 - n^2 h^2}}{n^2 - 1} \quad (6)$$

上式给出 x 随 h 变化的关系.

因为半球平表面中心有涂黑的面积, 所以进入玻璃半球的光线都有 $h \geq h_0$, 其中折射光线与 Ox 轴交点最远处的坐标为

$$x_0 = \frac{n^2 \sqrt{R^2 - h_0^2} + n \sqrt{R^2 - n^2 h_0^2}}{n^2 - 1} \quad (7)$$

在轴上 $x > x_0$ 处, 无光线通过.

随 h 增大, 球面上入射角 i 增大, 当 i 大于临界角 i_c 时, 即会发生全反射, 没有折射光线. 与临界角 i_c 相应的光线有

$$h_c = R \sin i_c = R \frac{1}{n}$$

这光线的折射线与轴线的交点处于

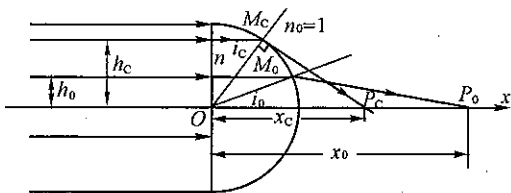
$$x_c = \frac{n^2 R \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}{n^2 - 1} = \frac{nR}{\sqrt{n^2 - 1}} \quad (8)$$

在轴 Ox 上 $R < x < x_c$ 处没有折射光线通过.

由以上分析可知, 在轴 Ox 上玻璃半球以右

$$x_c \leq x \leq x_0 \quad (9)$$

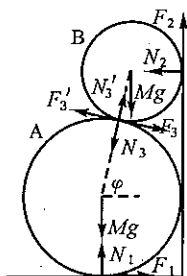
的一段为有光线段, 其他各点属于无光线段, x_0 与 x_c 就是所求的分界点, 如图复解 20-4-2 所示.



图复解 20-4-2

五、

放上圆柱 B 后, 圆柱 B 有向下运动的倾向, 对圆柱 A 和墙面有压力, 圆柱 A 有向左运动的倾向, 对圆柱 A 和墙面没有压力. 平衡是靠各接触点的摩擦力维持的. 现设系统处于平衡状态, 取圆柱 A 受地面的正压力为 N_1 , 水平摩擦力为 F_1 ; 圆柱 B 受墙面的正压力为 N_2 , 竖直摩擦力为 F_2 ;



图复解 20-5

圆柱 A 受圆柱 B 的正压力为 N_3 , 切向摩擦力为 F_3 ; 圆柱 B 受圆柱 A 的正压力为 N_3' , 切向摩擦力为 F_3' , 如图复解 20-5 所示. 各力以图示方向为正方向.

已知圆柱 A 与地面的摩擦系数 $\mu_1 = 0.20$, 两圆柱间的摩擦系数 $\mu_3 = 0.30$. 设圆柱 B 与墙面的摩擦系数为 μ_2 , 过两圆柱中心的平面与地面的交角为 φ .

设两圆柱的质量均为 M , 为了求出 N_1, N_2, N_3 以及为保持平衡所需的 F_1, F_2, F_3 之值, 下面列出两圆柱所受力和力矩的平衡方程.

圆柱 A

$$Mg - N_1 + N_3 \sin \varphi + F_3 \cos \varphi = 0 \quad (1)$$

$$F_1 - N_3 \cos \varphi + F_3 \sin \varphi = 0 \quad (2)$$

$$F_1 R = F_3 R \quad (3)$$

圆柱 B

$$Mg - F_2 - N_3' \sin \varphi - F_3' \cos \varphi = 0 \quad (4)$$

$$N_2 - N_3' \cos \varphi + F_3' \sin \varphi = 0 \quad (5)$$

$$F_3' r = F_2 r \quad (6)$$

由于 $F_3' = F_3$, 所以得

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_3' = F \quad (7)$$

式中 F 代表 F_1, F_2, F_3 和 F_3' 的大小. 又因 $N_3' = N_3$, 于是式(1)、(2)、(4)和(5)四式成为

$$Mg - N_1 + N_3 \sin \varphi + F \cos \varphi = 0 \quad (8)$$

$$F - N_3 \cos \varphi + F \sin \varphi = 0 \quad (9)$$

$$Mg - F - N_3 \sin \varphi - F \cos \varphi = 0 \quad (10)$$

$$N_2 - N_3 \cos \varphi + F \sin \varphi = 0 \quad (11)$$

以上四式是 N_1, N_2, N_3 和 F 的联立方程, 解这联立方程可得

$$N_2 = F \quad (12)$$

$$N_3 = \frac{1 + \sin \varphi}{1 + \cos \varphi + \sin \varphi} Mg \quad (13)$$

$$N_2 = F = \frac{\cos \varphi}{1 + \cos \varphi + \sin \varphi} Mg \quad (14)$$

$$N_1 = \frac{2 + \cos \varphi + 2 \sin \varphi}{1 + \cos \varphi + \sin \varphi} Mg \quad (15)$$

式(12)、(13)、(14)和(15)是平衡时所需要的力, N_1, N_2, N_3 没有问题, 但 F_1, F_2, F_3 三个力能不能达到所需的数值 F , 即式(12)、(14)要受那里的摩擦系数的制约. 三个力中只要有一个不能达到所需的 F 值, 在那一点就要发生滑动而不能保持平衡.

首先讨论圆柱 B 与墙面的接触点. 接触点不发生滑动要求

$$\mu_2 \geq \frac{F_2}{N_2}$$

由式(12),得

$$\frac{F_2}{N_2} = 1$$

所以

$$\mu_2 \geq 1 \quad (16)$$

再讨论圆柱 A 与地面的接触点的情形. 按题设此处的摩擦系数为 $\mu_1 = 0.20$. 根据摩擦定律 $F_f \leq \mu N$, 若上面求得的接地点维持平衡所需的水平力 F_1 满足 $F_1 \leq \mu_1 N_1$, 则圆柱在地面上不滑动; 若 $F_1 > \mu_1 N_1$, 这一点将要发生滑动.

圆柱 A 在地面不发生滑动的条件是

$$\mu_1 \geq \frac{F_1}{N_1} = \frac{\cos \varphi}{2 + \cos \varphi + 2 \sin \varphi} \quad (17)$$

由图复解 20-5 可知

$$\cos \varphi = \frac{R - r}{R + r} \quad (18)$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \frac{2\sqrt{Rr}}{R + r} \quad (19)$$

由式(17)、(18)和式(19)以及 $\mu_1 = 0.20$, 可以求得

$$r \geq \frac{1}{9} R \quad (20)$$

即只有当 $r \geq \frac{1}{9} R$ 时, 圆柱 A 在地面上才能不滑动.

最后讨论两圆柱的接触点. 接触点不发生滑动要求

$$\mu_3 \geq \frac{F_3}{N_3} = \frac{\cos \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad (21)$$

由式(18)、(19)以及 $\mu_3 = 0.30$, 可解得

$$r \geq \left(\frac{7}{13}\right)^2 R = 0.29R \quad (22)$$

显然, 在平衡时, r 的上限为 R , 总结式(20)和式(22), 得到 r 满

足的条件为

$$R \geq r \geq 0.29R \quad (23)$$

六、

在点电荷形成的电场中一点的电势与离开该点电荷的距离成反比。因为取无限远处为电势的零点，故正电荷在空间各点的电势为正；负电荷在空间各点的电势为负。现已知 $x = x_0$ 处的电势为零，故可知这两个点电荷必定是一正一负。根据所提供的电势的曲线，当考察点离坐标原点很近时，电势为正，且随 x 的减小而很快趋向无限大，故正的点电荷必定位于原点 O 处，以 Q_1 表示该电荷的电荷量。当 x 从 0 增大时，电势没有出现负无限大，即没有经过负的点电荷，这表明负的点电荷必定在原点的左侧。设它到原点的距离为 a ，当 x 很大时，电势一直为负，且趋向于零，这表明负的点电荷的电荷量的数值 Q_2 应大于 Q_1 。即产生题目所给的电势的两个点电荷，一个是位于原点的正电荷，电荷量为 Q_1 ；另一个是位于负 x 轴上离原点距离 a 处的负电荷，电荷量的大小为 Q_2 ，且 $Q_2 > Q_1$ 。按题目所给的条件有

$$k \frac{Q_1}{x_0} - k \frac{Q_2}{x_0 + a} = 0 \quad (1)$$

$$k \frac{Q_1}{\alpha x_0} - k \frac{Q_2}{\alpha x_0 + a} = -U_0 \quad (2)$$

因 $x = \alpha x_0$ 时，电势为极小值，故任一电荷量为 q 的正检测电荷位于 $x = \alpha x_0$ 处的电势能也为极小值，这表明该点是检测电荷的平衡位置，位于该点的检测电荷受到的电场力等于零，因而有

$$k \frac{Q_1}{(\alpha x_0)^2} - k \frac{Q_2}{(\alpha x_0 + a)^2} = 0 \quad (3)$$

由式(1)、(2)和(3)可解得

$$a = \alpha(\alpha - 2)x_0 \quad (4)$$

$$Q_1 = \frac{\alpha x_0}{\alpha - 2} \frac{U_0}{k} \quad (5)$$

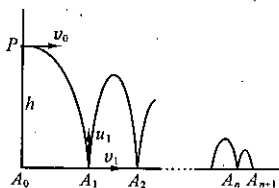
$$Q_2 = \frac{\alpha(\alpha - 1)^2}{\alpha - 2} \frac{U_0 x_0}{k} \quad (6)$$

式中 k 为静电力常量.

七、

物块抛出后做平抛运动,与地面发生第一次碰撞后反弹,具有竖直向上的分速度,同时还具有水平方向的分速度,故物块做斜抛运动.以后每当物块与地面发生碰撞后,都做斜抛运动.由于每次与地面碰撞后,竖直向上的分速都是碰撞前的 e 倍, $e <$

,同时因摩擦力作用,在与地碰撞的过程中,物块在水平方向的分速度也要变小,故一次一次碰撞后物块做斜抛运动的初速度将越来越小,它的运动情况如图复



图复解 20-7

解 20-7 所示,其中 A_1, A_2, \dots, A_n

1. 物块沿竖直方向的运动

物块下落到 A_1 处与地面发生第一次碰撞前竖直方向的速度为

$$u_0 = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

碰后速度变为 u_1 , 根据题意有

$$u_1 = eu_0 \quad (2)$$

在 A_2, A_3, \dots, A_n 各落地点碰后竖直方向的分速度分别为

$$u_2 = e^2 u_0$$

$$u_3 = e^3 u_0$$

$$\dots\dots\dots$$

$$u_n = e^n u_0 \quad (3)$$

设物块的质量为 m , 与地面碰撞的时间为 Δt , 在物块与地面碰撞的过程中, 物块受到竖直向下的重力 mg 和竖直向上的地面施的力 N 作用, 因为试题已假定物块与地面碰撞的时间 Δt 非常短, 故在碰撞过程中重力的冲量 $mg\Delta t$ 可忽略不计. 以 N_1, N_2, \dots, N_n 分别表示在第一次、第二次、 \dots 第 n 次碰撞过程中地面对物块沿竖直方向的作用力, 由动量定理有

$$\begin{aligned} N_1\Delta t &= mu_1 + mu_0 = mu_0(1 + e) \\ N_2\Delta t &= mu_2 + mu_1 = mu_0e(1 + e) \\ N_3\Delta t &= mu_3 + mu_2 = mu_0e^2(1 + e) \\ &\dots\dots\dots \\ N_n\Delta t &= mu_n + mu_{n-1} = mu_0e^{n-1}(1 + e) \end{aligned} \quad (4)$$

可以看出, 当 $n \rightarrow \infty$ 时, 地面对物块作用力的冲量将趋向于零. 在有限的 n 次碰撞过程中, 地面作用于物块的沿竖直方向的力的总冲量为

$$\sum_n N_n \Delta t = mu_0(1 + e)(1 + e + e^2 + \dots + e^{n-1}) \quad (5)$$

当 $n \rightarrow \infty$, 即在无限多次碰撞过程中, 地面在竖直方向作用于物块的总冲量

$$\begin{aligned} \sum_{n \rightarrow \infty} N_n \Delta t &= \\ mu_0(1 + e)(1 + e + e^2 + \dots + e^{n-1}) &= mu_0 \frac{1 + e}{1 - e} \end{aligned} \quad (6)$$

是有限的.

以上的讨论都是认为碰撞过程中重力的冲量和 N (地面对物块向上的作用力) 的冲量相比很小, 可以不考虑重力的影响, 但随着物块反弹高度的逐渐减小, 到后来, 在碰撞过程中, 物块

在竖直方向的动量及动量的变化已很小,这时,地面作用于物块的沿竖直方向的力的冲量与重力的冲量已可比拟,上面的理由已不成立;但是,由于我们假定 Δt 非常非常小,在计算动量变化时两者都可以不计,这样算出的结果和 $n \rightarrow \infty$ 而得的式(6)实际是一致的.这时物块在竖直方向实际上已无运动,作用于物块的重力与地面的支持力达到平衡.

2. 物块沿水平方向的运动

物块刚抛出时沿水平方向的分速度为 v_0 ,在 A_1 与地面发生第一次碰撞,在碰撞的极短时间 Δt 内,物块受到沿水平方向的摩擦力作用,速度将变小.以 v_1, v_2, \dots, v_n 分别表示第一、第二、...等 n 次碰撞后物块的水平分速度,由动量定理有

$$\begin{aligned} \mu N_1 \Delta t &= mv_0 - mv_1 \\ \mu N_2 \Delta t &= mv_1 - mv_2 \\ &\dots\dots \\ \mu N_n \Delta t &= mv_{n-1} - mv_n \end{aligned} \quad (7)$$

将以上各式相加得

$$\sum_n \mu N_n \Delta t = mv_0 - mv_n \quad (8)$$

(8) 等号左边为 n 次碰撞过程中摩擦力的总冲量.若 $n \rightarrow \infty$,注意到式(6)有

$$\sum_{n \rightarrow \infty} \mu N_n \Delta t = \mu m u_0 \frac{1+e}{1-e} \quad (9)$$

由(9)式可知,当物块开始抛出的高度 h 以及 e 和地面的摩擦系数 μ 都确定后,无限多次碰撞过程中摩擦力的总冲量是一定的,而能使物块沿水平方向的动量的最大变化量亦是一定的.如摩擦力的总冲量大于物块沿水平方向的初动量,则当物块沿水平方向的速度变为零时,沿竖直方向与地面的碰撞仍在进行;

反之,则当沿竖直方向的碰撞停止后,物块仍有沿水平方向分速度。当然,还有一种特殊情况:竖直方向的碰撞与水平方向的运动同时停止。不同的情况,对应的物块沿水平方向运动的最远距离将是不同。下面分几种情况进行计算。

(1) 若物块刚抛出时的水平速度 v_0 比较小,且有下面的关系:

$$\mu u_0 < \mu u_0 \frac{1+e}{1-e} \quad (10)$$

则物块与地面发生有限次数的碰撞后,沿水平方向的运动就消失,但竖直方向的运动依然存在,于是物块在原地继续上下跳动,直到最终停止。在这种情况下,设经过 $n = n_0$ 次碰撞,物块的水平分速度已经非常小,再经过一次碰撞,即在第 $n = n_0 + 1$ 次碰撞结束时,水平方向分速度变为零,即 $v_{n_0+1} = 0$,由(5)、(8)两式得

$$\mu u_0(1+e)(1+e+e^2+\cdots+e^{n_0}) = v_0$$

上式可写成

$$v_0 = \frac{\mu u_0(1+e)(1-e^{n_0+1})}{1-e}$$

或

$$e^{n_0+1} = 1 - \frac{v_0(1-e)}{\mu u_0(1+e)}$$

两边取对数得

$$n_0 + 1 = \frac{1}{\lg e} \lg \left[1 - \frac{v_0(1-e)}{\mu u_0(1+e)} \right] \quad (11)$$

令

$$B = \frac{1}{\lg e} \lg \left[1 - \frac{v_0(1-e)}{\mu u_0(1+e)} \right] \quad (12)$$

若 B 恰为整数,则表示在第 $n_0 + 1$ 次碰撞中,经过整个碰撞时间

Δt , 水平速度变为零, 故碰撞次数

$$n_0 + 1 = B$$

有

$$n_0 = B - 1 \quad (13)$$

若 B 不是整数, 则表示在第 $n_0 + 1$ 次碰撞结束前, 即在小于碰撞时间内, 水平速度已变为零, 故碰撞次数

$$n_0 + 1 = [B] + 1$$

有

$$n_0 = [B] \quad (14)$$

$[B]$ 表示 B 的整数部分.

由于经过 $n_0 + 1$ 次碰撞, 物块沿水平方向的分速度已为零, 且竖直方向的分速度尚不为零, 故物块将在 A_{n_0+1} 处做上下跳跃运动, 直到 $n \rightarrow \infty$, 即 $u_0 e^n \rightarrow 0$, 最终停在 A_{n_0+1} 处. 在这情况下, 物块运动的最远水平距离为 $s_1 = A_0 A_{n_0+1}$. 因

$$A_0 A_1 = \frac{u_0 v_0}{g}$$

$$A_1 A_2 = \frac{2u_1 v_1}{g} = \frac{2eu_0 v_0}{g} - \frac{2eu_0^2}{g}(1+e)\mu$$

$$A_2 A_3 = \frac{2e^2 u_0 v_0}{g} - \frac{2e^2 u_0^2}{g}(1+e)\mu(1+e)$$

.....

$$A_{n_0} A_{n_0+1} = \frac{2e^{n_0} u_0 v_0}{g} - \frac{2e^{n_0} u_0^2}{g}(1+e)\mu \times (1+e+e^2+e^3+\cdots+e^{n_0-1})$$

$$\text{故有 } s_1 = \frac{u_0}{g} v_0 + \frac{2u_0 v_0}{g}(e+e^2+\cdots+e^{n_0}) - \frac{2u_0^2}{g} \times (1+e)\mu[e+e^2(1+e)+e^3(1+e+e^2)+\cdots+$$

$$e^{n_0}(1 + e + e^2 + \cdots + e^{n_0-1})] \quad (15)$$

分别求级数的和

$$e + e^2 + e^3 + \cdots + e^{n_0} = e \frac{1 - e^{n_0}}{1 - e} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} & e + e^2(1 + e) + e^3(1 + e + e^2) + \\ & \cdots + e^{n_0}(1 + e + e^2 + \cdots + e^{n_0-1}) = \\ & e + e^2 \frac{1 - e^2}{1 - e} + e^3 \frac{1 - e^3}{1 - e} + \cdots + e^{n_0} \frac{1 - e^{n_0}}{1 - e} = \\ & \frac{1}{1 - e} [e(1 - e) + e^2(1 - e^2) + e^3(1 - e^3) + \\ & \cdots + e^{n_0}(1 - e^{n_0})] = \\ & \frac{1}{1 - e} \left(\frac{e - e^{n_0+1} - e^{n_0+2} - e^{2n_0+2}}{1 - e^2} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

由式(16)、(17)并注意到式(1)得

$$\begin{aligned} s_1 = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \left(1 + 2e \frac{1 - e^{n_0}}{1 - e} \right) - \\ \frac{4e\mu h}{(1 - e)^2} (1 - e^{n_0})(1 - e^{n_0+1}) \end{aligned} \quad (18)$$

式中 n_0 由式(13) 或式(14) 决定.

(2) 若物块刚抛出时的水平速度 v_0 比较大,且有下面的关系:

$$mv_0 > \mu mu_0 \frac{1 + e}{1 - e} \quad (19)$$

则在物块与地面发生无限多次碰撞后,沿竖直方向的运动已经停止,但沿水平方向的运动仍然存在,在摩擦力的作用下最终停下.在这种情况下,物块与地面发生无限次碰撞后水平方向的分速度 $v_\infty \neq 0$,注意到式(8)和式(9)有

$$\mu mu_0 \frac{1 + e}{1 - e} = mv_0 - mv_\infty \quad (20)$$

得
$$v_{\infty} = v_0 - \mu u_0 \frac{1+e}{1-e} \quad (21)$$

碰撞停止后物块在水平方向滑行的距离

$$s' = \frac{v_{\infty}^2}{2\mu g} = \frac{1}{2\mu g} \left(v_0 - \mu u_0 \frac{1+e}{1-e} \right)^2 \quad (22)$$

在无限次碰撞过程中,物块沿水平方向滑行的距离可令(18)式中的 $n_0 \rightarrow \infty$ 求得,即

$$s'' = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \left(1 + \frac{2e}{1-e} \right) - \frac{4e\mu h}{(1+e)^2} = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{1+e}{1-e} - \frac{4e\mu h}{(1-e)^2} \quad (23)$$

物块在水平方向运动的最远距离

$$s_2 = s' + s'' = \frac{1}{2\mu g} \left(v_0 - \mu u_0 \frac{1+e}{1-e} \right)^2 + v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{1+e}{1-e} - \frac{4e\mu h}{(1-e)^2} \quad (24)$$

(3) 若刚抛出时的水平方向的分速度 v_0 满足下面的关系:

$$mv_0 = \mu mu_0 \frac{1+e}{1-e}$$

则物块与地面发生无限多次碰撞后,沿竖直方向的运动停止,同时,沿水平方向的运动亦停止. 在这情况下,物块在水平方向运动的最远距离

$$s_3 = s'' = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \frac{1+e}{1-e} - \frac{4e\mu h}{(1-e)^2} \quad (25)$$

各省、自治区、直辖市复赛 实验试题及部分解答

北京市

一、黑盒子

黑盒子有6个接线柱,在接线柱1和2间、3和4间、5和6间,各有若干个(至少1个,最多2个)无源线性元件,试用给定仪器和用具接成适当的观测电路,判断接线柱1和2间、3和4间、5和6间,各有什么元件,并确定其参数值。

[仪器和用具] 双踪示波器,信号发生器,标准电容($C_0 = 0.20 \mu\text{F}$)和导线若干。

[要求]

1. 判断元件:画出观测电路,文字说明判断依据。
2. 确定元件参数值:画出观测电路,写出测量数据、计算公式、元件参数值。

● 有2个元件的,指出都有什么元件?是怎样联结的?(是串联,还是并联?)

● 建议:信号发生器频率选择范围在 $100 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$ 的简谐信号。

[注]

1. 双踪示波器的使用可参阅桌面上说明牌。建议:除面板上贴有中文名称标签以外的键钮,尽量不使用,以免调乱而浪费时间(万一调乱示波器时,可举手示意,向监考老师寻求帮助)。

2. 双踪(读出)示波器,屏幕上各字符的含义,参看说明牌。

3. 用双踪示波器观测信号时,两个通道输入线的地端必须共地。

* 4. 若扫迹线条粗而不清楚时,可加接地线(在示波器地端与函数发生器地端间)解决,也可举手示意请监考老师帮助解决.

二、现有一块单缝,它是在一块不透明的平板上刻划出一条宽度一定而且能透过光波的窄型长方形而成.根据光学的衍射理论,当光波入射并透过单缝时,将产生衍射现象.现给出如下仪器和用具.请测定该单缝宽度 a 值.

[仪器和用具] 1 把米尺, 1 台发散角极小且光波波长 λ 为 633 nm 的氦氖激光器, 1 块屏幕以及带有附件的实验台.

[要求]

1. 写出测量单缝宽度 a 值的计算公式.
2. 画出测量用的实验光路图, 注明光路图中所用仪器元件名称和相对应的位置.
3. 写出主要的实验步骤.
4. 记录测量的原始数据.
5. 计算并给出实验测量结果.

上海市

一、测量钠光的波长

[仪器和用具] 钠光灯, 聚光透镜(2 个), 可调单缝, 双棱镜, 测微目镜, 观察屏, 照明灯.

[要求]

1. 利用所给设备, 自行设计实验方案.
2. 利用测微目镜测出相邻亮条纹(或暗条纹)间的距离 Δx , 并用逐差法处理数据(条纹测量不少于 12 条).
3. 测量狭缝到目镜分划板的间距 D (狭缝和测微目镜的分划板所处位置不在光具座的中心上, 其偏离中心的修正值已标

定在该器件上)。

4. 测量物理量 d , 要求给出计算公式。

5. 计算钠光波长 λ 的实验测量值, 并与标准值 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$ 进行比较, 求出百分误差。

[说明]

双棱镜可看作是有两个折射棱角 α 很小(小于 1°) 的直角棱镜底边相接而成。借助于双棱镜可使从单缝 S 发出的单色光的波阵面沿两个不同方向传播, 相当于虚光源 S_1 及 S_2 发出的两束光。当这两束光满足相干条件时, 在其交叠空间的任何位置上将有干涉发生(狭缝足够窄), 则在该区域内可以观察到干涉条纹, 如图 1。若 S_1 和 S_2 之间的距离为 d (如图 2 所示, 因双棱镜很薄, 可认为 S, S_1 和 S_2 在同一平面内), 缝 S 至观察屏的距离为 D 。 δ 为 S_2P 的长度, O 为屏上与 S_1 及 S_2 等距离的点。在 O 点处, 两束光波的光程差为零, 此时两波加强而成零级的亮条纹; 在 O 点的两边还排列着明暗相间的干涉条纹。

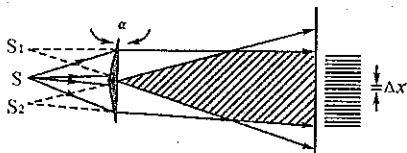


图 1

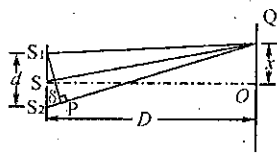


图 2

在屏上距 O 点为 x 的 Q 点处, 当 $D \gg d, D \gg x$ 时, 有 $\frac{\delta}{d} = \frac{x}{SQ}$ 。因为 $\overline{SQ} \approx D$, 所以 $\frac{\delta}{d} = \frac{x}{D}$, 即 $\delta = \frac{xd}{D}$ 。根据相干条件, 当光程差 δ 满足:

$$(1) \delta = 2k \left(\frac{\lambda}{2} \right) \text{ 时, 即在 } x = \frac{D}{d} k \lambda \text{ 处 } (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

产生亮条纹；

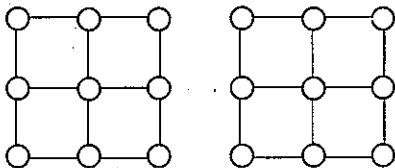
(2) $\delta = (2k - 1)\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ 时,即在 $x = \frac{D}{d}\left(k - \frac{1}{2}\right)\lambda$ 处 ($k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$),产生暗条纹。

则两相邻亮条纹(或暗条纹)的距离为 $\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D}{d}\lambda$,如果测得 Δx 、 D 和 d ,便可求出 λ 值。

二、判别材料的电磁性质,计算耦合系数

[仪器和用具]

1. 插件板 1 块,如图
所示。插件板为插孔式,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. 待测平板 3 块:分别为红、绿、黄三色。

3. 所配元件:(1) 电感器 1 只(测量时平板需贴在有标记的一面);(2) 电容器 1 只;(3) 100 Ω 、100 k Ω 电阻各 1 只。

4. 连接线若干。

5. 双踪示波器 1 台。

6. 功率输出信号发生器 1 台(数字显示值即为频率值)。

7. 数字万用表 1 只(允许使用频率范围为 50 ~ 2 000 Hz)。

[要求]

1. 本实验提供了 3 块待测平板,分别为红、绿、黄三色。请参照所给的实验原理,设计测量方案判断 3 块平板材料的电、磁学性质,并说明判断的理由。

(1) 电学性质:导体、非导体或无法判断。

(2) 磁学性质:铁磁体、非铁磁体或无法判断。

2. 利用实验原理给出的公式, 对非铁磁导电平板测量 k 值.

(1) 请用实验室提供的设备组成测量线路, 设计两种测量精度较高(能读取 4 位有效数字)的方案, 画出测量线路图(但一种方案的变通形式不能计入).

(2) 给出每种测量方案的 k 与直接测量量的关系式.

(3) 计算 k 值.

[说明]

让电感量为 L 的线圈通过交变电流, 当把一块非铁磁导电平板置于线圈的磁路中时, 平板将感应出电流, 可把平板看成是次级短路线圈. 这时, 初级线圈两端的等效电感量将由 L 变为 L_1 , 若忽略导体平板的电阻, 则它们的关系为

$$L_1 = L(1 - k^2)$$

其中 k 表征了初次级线圈磁通的耦合强度, 称为耦合系数.

[注意]

示波器和信号发生器的地线(黑色接线端)与其电源线中的地线连通, 接线时请注意信号的流向.

天津市

一、测定气垫导轨上运动滑块的瞬时速度, 研究因空气阻尼及导轨不完善对滑块产生的阻力

[仪器和用具] 气垫导轨(含气源), 数字毫秒计时器, 游标卡尺, 滑块 1 只(含挡光片 1 块), 带有指针的光电门 2 个, 垫块 1 个及毫米分格直角坐标纸 1 张等.

[要求]

1. 在给定垫块的落差下测定与静止滑块相距 20 cm 处某定点的瞬时速度 v .

2. 假定因空气阻尼及导轨不完善等因素对滑块运动产生的阻力不随速度而变化, 试求本实验中滑块在轨道上运动时的等效摩擦系数 μ .

3. 简述本实验所依据的实验原理.

4. 列出实验的步骤提纲和两项自认为最主要的注意事项.

5. 用列表法记录及处理实验数据.

[说明]

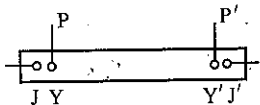
1. 气垫导轨是近似平直且无机械摩擦的力学实验装置, 轨道上附设米尺用以确定滑块及光电门的位置, 接通气源即可正常工作. 一般情况下, 由于滑块运动速度较小, 滑块的下滑运动可简单地视为匀加速直线运动.

2. 已知气垫导轨单脚至双脚端的距离为 70 cm; 天津地区重力加速度 $g = 980.09 \text{ cm/s}^2$.

3. 数字毫秒计时器是靠光电门控制“开始”及“停止”的时间间隔记录装置. 其“ Δt ”或“ S_2 ”挡位的工作方式是首次遮光开始计时, 复遮光停止计时.

二、用伏安法测量钢板尺电阻及电阻率

几十厘米长的钢板尺阻值为低阻, 测量低阻必须考虑接触电阻和连线电阻的影响, 否则会给测量带来很大的误差, 甚至使测量失去意义. 因此, 低阻常做成四端结构, 如图所示, J、J' 两个外接头串入工作电路, 并流过很大电流, 故称为“电流接头”; 两个内接头 Y、Y' 称为“电压接头”, 低阻即为 Y、Y' 间的阻值. 测量时可将接触电阻和连线电阻引入到大电阻支路中, 以忽略其影响. 由此用伏安法测低阻可达到一定的测量精度.



[仪器和用具] 直流稳流电源(符号 $\text{—}\text{⊙}\text{—}$, 最大输出电流 3 A), 直流电流表(7.5 mA 档, 内阻 $3.6\ \Omega$), 直流微安表(量程 $10\ \mu\text{A}$, 内阻见表盘所贴数据), 标准低阻 R_S (阻值 $0.100\ 00\ \Omega$, 额定电流 $\leq 2\ \text{A}$), ZX21 型电阻箱 1 个($0.1 \sim 99999.9\ \Omega$, 功率 $0.3\ \text{W}$), 待测钢板尺 1 个(长度 40 cm 左右, 阻值为 $10\ \text{m}\Omega$ 左右, 额定电流 $\leq 5\ \text{A}$), 螺旋测微器及游标卡尺, 开关 1 个, 导线若干.

[要求]

1. 画出用伏安法测低阻的电路图, 标出各元件名称, 给出有关数据, 并说明所用电压表量程 U_0 和所用电流表量程 I_0 . 经老师检查后可进行下一步.

2. 测量数据, 计算所测钢板尺长度的电阻值.

3. 测量钢板尺的有关尺寸, 并算出其电阻率.

4. 说明用伏安法测钢板尺电阻所采用电路连接方式的原理.

三、用量程为 1 mA 的直流毫安表组装欧姆中心为 $100\ \Omega$ 的欧姆表

[仪器和用具] 500 型万用表直流电流 1 mA 档(内阻见表盘所贴数据), ZX21 型电阻箱 2 个($0.1 \sim 99\ 999.9\ \Omega$, $0.3\ \text{W}$), 甲电池 1 节(标称值 1.5 V, 额定电流 100 mA), 待测电阻, 导线若干.

[要求]

1. 画出组装的欧姆表电路图, 标出各元件的名称, 给出各有关元件的数据.

2. 简述欧姆表的使用步骤, 并说明如何调节该欧姆表的零点. 经老师检查后可进行测量.

3. 用自己组装的欧姆表测量 2 个指定待测电阻.

四、透镜组顶焦距测量

[仪器和用具] 光具座(滑动底座和透镜架若干), 亮度可调

鹧灯光源1套,毛玻璃1片,透镜3个(分别标为 L_1, L_2, L_3),物屏,象屏,平面反射镜.

[要求]

1.测量过程中不能改变透镜组的摆放顺序.涉及测量的部分需要重复3次.

2.实验报告中需要叙述实验原理、实验步骤,给出测量数据,并画出透镜组的光路图,在图中标出测量结果.

[说明]

利用透镜 L_1, L_2 组成一个透镜组,两透镜的距离为 18.00 m , L_1 在前(靠近光源).测量透镜组的像方顶焦距和物方顶焦距.(顶焦距为焦点到透镜组中最近一个透镜的距离)

重庆市

一、请用下列给出的仪器和用具,测量不规则的粘有金属块的有机玻璃板,绕通过板的重心且垂直于板面转轴的转动惯量.

[仪器和用具]三线摆1台(下圆盘质量 $m_0 = 360.0\text{ g}$,悬线长度已固定为 0.4500 m),水准仪1个,计时器1只,钉在桌子侧面的铁钉1颗(铁钉的直径可忽略不计),细线1根,金属重物(螺帽)1个,水彩笔1支,有两个小孔粘有金属块的不规则有机玻璃板1块(其质量 $m_1 = 0.3179\text{ kg}$).

[提示]三线摆转动系统的转动惯量为 $I = mKT^2$,其中 m 为转动系统的质量,在悬线长度固定时, $K = 2.83 \times 10^{-3}\text{ N}\cdot\text{m}/\text{kg}$, T 为系统振动的周期.

二、根据以下实验条件,选择最合理的电路和方法,安全(不能烧表)、准确(有效数字尽可能多)地测量1只 $100\text{ }\mu\text{A}$ 电流表的内阻(电阻值约为 $2\text{ k}\Omega$).所给器材不一定全部用完.

[仪器和用具] 1.5 V 直流电源 1 个, 0 ~ 999 99.9 Ω 可调电阻箱(6 个旋钮)4 只, 0 ~ 2 V 数字电压表 1 个, 100 μA 电流表 1 只, 连接导线若干.

[要求]

1. 画出测量线路图.
2. 简述测量原理.
3. 简述实验步骤.
4. 写出测量结果.

三、用声光衍射法测液体中的声速

[仪器和用具] He - Ne 激光器, SLD - 2 声光衍射仪(含声换能器), 液槽, 升降台, 米尺, 游标卡尺, 白屏(含座), 温度计.

[要求]

1. 写出适合所给仪器和器材的光栅方程以及液体中声速表达式.
2. 正确使用声光衍射仪和所给器材, 测量相关参量.
3. 记录原始实验数据.
4. 写出测量结果.

[说明]

1. 声换能器插入液体槽中, 开机后液体内就会形成一个超声场, 当仪器处于谐振时, 液体声场光学特性类似于一个相位光栅. 当光垂直入射, 光栅方程为 $\lambda_s \sin \varphi_k = k\lambda$, 其中 λ_s 为超声波波长, 也是超声光栅常量, φ_k 为衍射角, k 为衍射级次数, λ 为入射光波长.

2. 声光衍射仪的使用和注意点见仪器说明书.

3. He - Ne 激光波长 $\lambda = 632.8 \text{ nm}$.

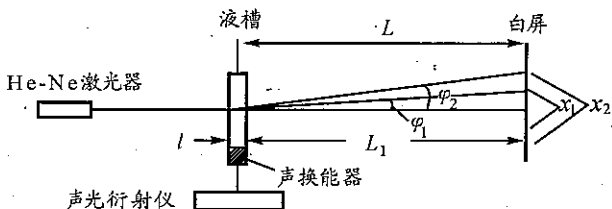
· 参考解答 ·

三、

1. 原理及公式

激光细束垂直入射在超声光栅上,光栅方程为

$$\lambda_s \sin \varphi_k = k\lambda \quad (1)$$



其中 λ_s 为液体中超声波波长,也是此时的光栅常量, φ_k 为第 k 级衍射角, k 为衍射级次数, $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ 为激光波长.

如图所示, $\sin \varphi_k = \frac{x_k}{L}$, 于是方程(1)可写成

$$\lambda_s = \frac{2L\lambda}{\frac{x_k}{k}} \quad (2)$$

液体中声速

$$v = \lambda_s \cdot f \quad (3)$$

其中 f 为声光衍射仪显示的超声波频率.

2. 操作与实验步骤

(1) 将声换能器与仪器相接后再将其放入液槽液体中, 开机使仪器工作.

(2) 打开激光器, 使激光垂直照射液槽, 适当远处放置白屏.

(3) 调节频率调节旋钮,使换能器处于谐振状态(可能不是最佳状态),此时白屏上有衍射斑产生。

(4) 仔细调节液槽使激光垂直入射在液槽上(此时白屏上的各级衍射斑对称分布于0级衍射斑两侧)。

(5) 仔细调节仪器频率旋钮,此时衍射光斑最多,衍射光斑也亮(衍射效率高)。

(6) 记录仪器显示的频率 f 。

3. 数据记录

(1) 记录仪器所显示频率 $f = 11.2 \text{ MHz}$ 。

(2) 液槽厚度 l 数据表

次数	1	2	3	平均
项目				
l/mm	48.0	47.0	46.5	47.0

(3) 测液槽右壁到白屏 L_1 数据表

次数	1	2	3	平均
项目				
L_1/mm	998.0	998.5	999.0	998.5

(4) 衍射光斑之间距 x_k 数据表

x_k	x_1/mm	x_2/mm	x_3/mm
数据	9.66	19.44	29.14

(5) 液体温度 $t = 28.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

4. 计算测量结果

$$\bar{l} = 47.0 \text{ mm}$$

$$\bar{L}_1 = 998.5 \text{ mm}$$

$$\bar{L} = \frac{\bar{l}}{2} + \bar{L}_1 = 1022.0 \text{ mm}$$

$$\bar{\frac{x_k}{k}} = \left(\frac{x_1}{1} + \frac{x_2}{2} + \frac{x_3}{3} \right) \cdot \frac{1}{3} = 9.69 \text{ mm}$$

将 $\bar{L}, \frac{x_k}{k}$ 代入公式(2) 得

$$\bar{\lambda}_s = 0.1335 \text{ mm}$$

将 $\bar{\lambda}_s, f$ 代入公式(3) 得液体中的声速

$$v = \bar{\lambda}_s \cdot f = 1.496 \times 10^3 \text{ m/s}$$

河北省

一、研究声音在空气中的传播规律

[仪器和用具] 信号发生器1台,示波器1台,扬声器1只,量筒1个,塑料管1个,卷尺1个,坐标纸1张,导线若干.

[要求]

1. 研究声波在空气中传播的频率与波长之间的关系,计算空气中的声速.

2. 简述实验原理.

3. 根据实验原理组装实验装置.

4. 简要记录实验过程.

5. 记录并计算测量结果.

二、根据所给仪器测量:

1. 待测电阻阻值 R_x .

2. 电压表内阻 R_V .

3. 电源的电动势 E .

4. 电源的内阻 r (已知 $r < R_V$).

[仪器和用具] 电源(电动势 E 和内阻 r 未知)1个,已知阻值 $R_0 = 300 \Omega$ 的电阻1个,待测电阻(R_x)1个,电压表1个,单刀开关1个,导线若干.

[要求]

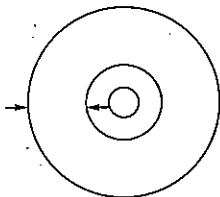
1. 画出实验所采用的电路图,简述原理.

2. 简述实验步骤.
3. 列出实验数据.
4. 简要列出数据处理的过程.

[说明]

各待测量不得通过估计,或者读仪器铭牌确定.

三、现有一张光盘,在它上面刻有磁道,磁道分布在箭头所示的环形区域,这些磁道可以看成一条等间距的螺旋曲线,如图所示.现请设计一个方案,估算出磁道的总长度.(画出光路图)



[仪器和用具] He - Ne 激光器 1 台(波长 632.8 nm), 光具座 1 个, 有孔的屏 1 个, 无孔的屏 1 个, 刻度尺 1 把, 双面胶, 光盘 1 张, 读数显微镜 1 台.

[注意]

1. 在实验过程中, 如果想不出实验方案, 可以向监考老师申请实验原理说明, 同时相应于这部分的分值, 将被监考老师扣除.
2. 如果知道了实验原理, 但不会做实验, 也可以向监考老师申请实验光路图, 相应的分值将被监考老师扣除.
3. 实验结束后, 经监考老师同意方可离开实验室.

山西省

一、测定混合固体物质的质量含量

[仪器和用具] 焦利秤, 砝码, 铁、铝固体颗粒混合物(已知密度 $\rho_{\text{Fe}} = 7.87 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{\text{Al}} = 2.70 \text{ g/cm}^3$), 烧杯, 水(室温下密度 $\rho_0 = 0.998 \text{ g/cm}^3$).

[要求] 测定铁、铝固体颗粒混合物中铁和铝的质量含量。
在实验报告中应包含以下内容:

1. 实验原理.
2. 实验步骤.
3. 测量数据及计算结果.

[注意]

1. 本地区重力加速度为 $g = 9.80 \text{ m/s}^2$.
2. 忽略细线及纱网对测量结果的影响.
3. 本题备提示卡(实验原理)1张,可要求提示,但要扣7分.

二、电阻的测量

[仪器和用具] 干电池3节(内阻可忽略),检流计,可调电阻(电位器),六旋钮电阻箱(可作为标准电阻使用),待测电阻(约 500Ω),开关,导线等.

[要求] 采用多种实验方案(最少两种),准确测量未知电阻的阻值.

1. 自己设计实验方案,画出电路图.
2. 完成实验,给出测量结果,完成实验报告.
3. 分析你所选用方案的优缺点.

[注意] 每次联接电路后应请教师检查线路

内蒙古自治区

一、三棱镜顶角与三棱镜最小偏向角的测量

[仪器和用具] 分光仪1台,三棱镜1块,钠光灯1台. 仪器状态:三棱镜两面都有绿光返回.

[要求]

1. 调节望远镜焦距.(要求聚焦在无穷远处)
2. 测量三棱镜顶角.(先调节载物平台与望远镜的倾角.测

量时不要再调节。)

	A 面两游标在 度盘上的角值	B 面两游标在 度盘上的角值		顶角
第一次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		
第二次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		
第三次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		

顶角平均值 =

3. 调节平行光管。(要求出射平行光)

4. 测量三棱镜最小偏向角。

	出射线角值	入射线角值		最小偏向角
第一次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		
第二次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		
第三次	游标 1 = 游标 2 =	游标 1 = 游标 2 =		

最小偏向角平均值 =

二、拉脱法测定液体的表面张力系数

[仪器和用具] 焦利秤, 弹簧, 金属杆, 金属框及细丝, 砝码, 游标卡尺, 螺旋测微器, 温度计, 酒精灯, 蒸馏水, 吸水纸。

[要求]

1. 测量弹簧的劲度系数 k ; 根据胡克定理 $mg = k\Delta y$ (Δy 为弹簧的伸长量、 m 为增加的砝码质量), 测量 Δy , 用逐差法求出弹簧的劲度系数 k 。

2. 测量 ($F - W$) 值: 用清洁的金属框及细丝测量水膜刚好

被破坏时的读数 y_6' , 上升托盘测量干燥金属框及细丝的读数 y_6 , 至少测量 3 次, 求出 $F - W = k(y_6' - y_6)$ 。

3. 测量 h 值: 换金属杆测量 y_7 , 上升托盘使钢丝接触水面, 测量水膜刚好被破坏时的 y_7' , 至少测量 3 次, 求出 $h = y_7' - y_7$ 。

4. 测量 l 、 d 及水温。

5. 计算水的表面张力系数 α 。

[说明]

在金属框中拉一条金属丝, 将框和细丝浸入待测液体中, 当再慢慢拉出液面时, 金属丝带出一层液膜, 设液膜将被拉断时向上的拉力为 F , 膜宽(金属丝的长度)为 l , 膜高为 h , 膜厚(金属丝的直径)为 d 。考虑到被拉起的液面有两个表面及这部分液体的重量之后, 有 $F = W + 2\alpha l + ldh\rho g$, 式中 W 为金属框和金属丝所受重力和浮力之差, α 为液体表面张力系数, g 为重力加速度, ρ 为液体的密度, 则

$$\alpha = \frac{(F - W) - ldh\rho g}{2l}$$

附: 不同温度下水的密度 ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ	$t/^\circ\text{C}$	ρ
15	.999 13	19	.998 43	23	.997 57	27	.996 55
16	.998 97	20	.998 23	24	.997 33	28	.996 27
17	.998 80	21	.998 02	25	.997 08	29	.995 98
18	.998 62	22	.997 80	26	.996 82	30	.995 68

[实验试题提示]

1. 测量弹簧的劲度系数 k :

(1) 旋钮 E 调整毫米刻度尺高度, 旋钮 H 调整平台高度, G 为小镜刻度线。

(2) 砝码由 1.00 g 起, 按 0.50 g 增至 3.50 g, 测得 $y_0, y_1, y_2,$

y_3, y_4, y_5 , 并减至 1.00 g 测得 $y_5', y_4', y_3', y_2', y_1', y_0'$.

(3) 求平均 $\bar{y}_i = \frac{1}{2}(y_i + y_i')$, 求逐差值 $\Delta y_i = \frac{1}{2}(\bar{y}_{i+3} - \bar{y}_i)$, 求 Δy .

2. 测量 $(F - W)$ 值:

(1) 烧、洗金属框及细丝.

(2) 将金属框及细丝浸入水中, 在上调 E 的同时下调 H (G 始终处在零点), 水膜刚好破为止, 读 y_6' .

(3) 用吸水纸吸去金属框及细丝上的水珠.

(4) 动 H (不动 E) 直到 G 回零点, 读 y_6 .

3. 测量 h 值:

(1) 转 E 使 G 为零, 读出 y_7 .

(2) 转 H 使液面刚好与金属丝接触.

(3) 转 E 使水膜刚好被破坏为止, 读 y_7' .

辽宁省

一、测量二极管的伏安特性曲线

[仪器和用具] 直流稳压电源 (7 V), 微安表, 六转盘电阻箱, 滑线变阻器 2 个 (1.5 k Ω , 360 Ω), 示波器, 换向开关, 单刀单掷开关 2 个, 直角坐标纸, 待测二极管.

[要求] 测 1 次.

二、测干砖块的密度

[仪器和用具] 物理天平, 水, 水杯, 细线 (质量可忽略), 待测砖块, 砝码.

[要求] 测 3 次, 取平均值.

三、平行光管中会聚透镜焦距的测量

[仪器和用具] 钠光灯, 平行光管 (已调好), 凸透镜 (焦距

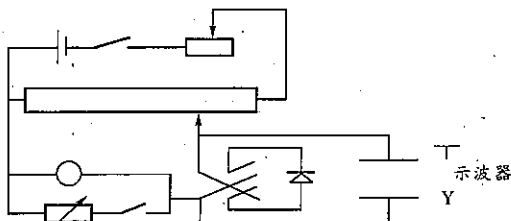
$f_0 = 17.5 \text{ cm}$), 接收屏, 白纸, 读数显微镜.

[要求] 测 1 次.

· 参考解答 ·

一、

电路图:



先测出微安表的内阻. 微安表并联合合适的电阻可改装成不同量程的电流表用于电流测量, 示波器测直流电压, 两个滑线变阻器其一可限流(阻值大的) 另一可分压(阻值小的), 也可用二次分压, 见电路图. 用直角坐标纸画出伏安特性曲线, 电流正半轴用毫安为单位, 负半轴用微安为单位.

二、

砖块在空气中的质量为 m_1 , 浸入水中的质量为 m_2 , 从水中取出后的质量为 m_3 , 干砖块的密度为 ρ , 室温下水的密度 $\rho_0 = 1.00 \text{ g/cm}^3$, 用天平分别测出 m_1 、 m_2 、 m_3 的质量.

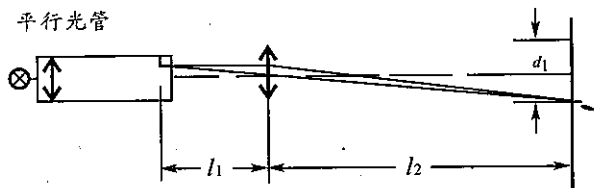
三、

设平行光管狭缝宽为 d , 待测透镜焦距为 f , 读数显微镜的放大倍数为 β , 其它符号如图示.

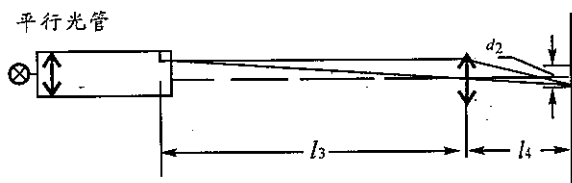
第一步: 用共轭法测出平行光管中狭缝的宽度 d , 见光路图 1、光路图 2.

第二步: 测出平行光管中透镜的焦距, 见光路图 3.

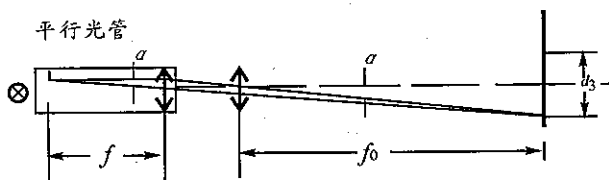
光路图 1:



光路图 2:



光路图 3:



由图 1、图 2 得

$$l_1 = l_4 \quad l_2 = l_3$$

$$\frac{d_1}{d} = \frac{l_2}{l_1} \quad \frac{d_2}{d} = \frac{l_4}{l_3} \quad d = \sqrt{d_1 d_2}$$

由图 3 得

$$\tan \alpha = \frac{d}{2f} = \frac{d_3}{2f_0}$$

用读数显微镜测出 d_1 、 d_2 、 d_3 的宽度对应值分别为 D_1 、 D_2 、

$$D_3, \text{ 则 } d_i = \frac{D_i}{\beta} \quad f = \frac{df_0}{d_3} = \frac{\sqrt{D_1 D_2} f_0}{D_3}$$

吉林省

一、电学试题

[仪器和用具] 双线示波器, 电阻箱, 信号源, 电容, 电阻, 二极管.

[要求]

1. 实验电路如图 1. 电阻 $R' = R'$, R 为可调电阻箱. 用双线示波器测量当 R 变化时, U_{AO} 和 U_{BO} 两电压大小和它们之间的相位差变化, 列表给出 5 组数据, 并写

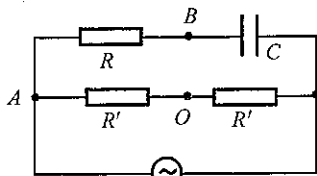


图 1

出结论。(注: 当在示波器上同时显示两个有一定相差的波形时, 其表现为两个波形到达高点的时间不同, 水平相差一定距离, 而造成一个周期的震荡为 2π 的相角。)

2. 理想的二极管为正向导通负向截止, 实际中二极管所加正向电压达到一定值时才能导通, 此电压称为二极管的导通电压. 用电阻箱(取 $50\ \Omega$) 和双线示波器来测量实际所给二极管的导通电压. 要求(1) 画出测量电路并标明示波器两输入端红黑表的接点; (2) 给出导通电压值; (3) 简要写出得出导通电压值的依据.

3. 把二极管和电容串联与信号源组成一个回路, 如图 2. 用双线示波器同时观察信号源输出波形和电容器上电压的波形, 要求(1) 说明电容上出现这种波形的原因; (2) 测出电容两端电压 U_C 和信号源输出峰值电压 U_P 之比; (3) 能否再加一个

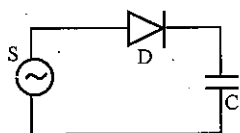


图 2

二极管和一个同样的电容与原电路组成一个新的电路, 使得在

电路上某两点间的电压近似为第一个电容上电压的二倍?

[说明]

1. 双线示波器已经事先调试好,未指明的旋钮等不要乱动.现指明旋钮的用途:

①、② 分别调节输入 CH1、CH2 两通道波形上下位置的改变.

③、④ 分别调节输入 CH1、CH2 两通道信号在荧光屏上竖直方向每大格代表的电压值(需调节同轴两旋钮外侧带有四个突起的大旋钮,其中一个突起上有刻线,刻线所对面板上的数字即为每大格代表的电压值).

⑤ 同时调节 CH1、CH2 两通道信号的稳定程度.

⑥ 同时调节 CH1、CH2 两通道信号横向疏密程度(同轴大小旋钮均起作用).

2. 在使用双线示波器同时测量两信号时,要将两输入线“黑”端接在电路的同一点,否则一旦有某个“红”端与任一“黑”端接在一起,此输入将短路无波形.

3. 信号源只需进行幅度调节,信号已经选定为 500 Hz 的正弦波,要使用电压输出端输出.

二、力学试题

[仪器和用具] 转动惯量测定仪 1 套(含细杆,滑块 1 个,托盘,匀质圆柱体等),物理天平 1 台,卡尺 1 把.

[要求] 利用上述给定器具,测出

1. 滑块对过质心沿任一直径的转轴的转动惯量 $I_{滑}$ (见[说明]下面的图 3).

2. 匀质圆柱体的质量 $m_{柱}$.

为此,应按以下要求进行:

(1) 由转动定律和平行轴定理出发,导出实验测量所需公

式.

(2) 测 k 时要测 6 组数据, 并用逐差法计算结果; 其他数据均测量 2 次, 然后用平均值法计算结果.

(3) 实验步骤要有清晰的表述.

(4) 原始数据要记录齐全.

(5) 实验完毕时, 将所有仪器物品恢复原状.

[说明]

1. 转动惯量的有关知识

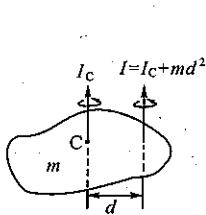


图 1

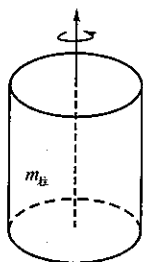


图 2

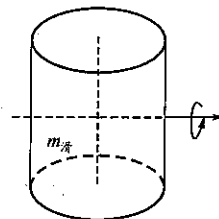


图 3

(1) 转动惯量是刚体转动时惯性大小的量度. 转动除与刚体的质量及质量分布有关外, 还与转轴的位置有关.

(2) 转动定律: 刚体绕定轴转动时, 刚体的角加速度 β 与它所受的合外力矩 M 成正比, 与它的转动惯量 I 成反比, 即

$$M = I\beta$$

这称为刚体绕定轴转动的转动定律.

(3) 平行轴定理: 若一质量为 m 的刚体对过其质心 C 的转轴的转动惯量为 I_C 时, 则这刚体对平行于该轴和它相距 d 的另一转轴的转动惯量 I 为

$$I = I_C + md^2$$

见图 1.

(4) 匀质圆柱体绕过中线转轴的转动惯量 $I_{\text{柱}} = \frac{1}{2} mR^2$, 见图 2.

2. 仪器说明: 转动惯量测定仪是在垂直轴上装有一螺旋弹簧. 垂直轴转过角度 θ 时, 弹簧受扭转而产生恢复力矩 M , 且

$$M = -k\theta$$

其中 k 为弹簧的扭转常量.

细杆上有若干个沟槽, 间距为 5.00 cm.

· 参考解答 ·

二、

因为 $I\beta = M$, 合外力矩 $M = -k\theta$, 类比于 $ma = F$, 合外力 $F = -kx$ 的简谐振动, 故转动惯量仪上滑块所做运动亦为简谐

振动. 其中周期 T 类比于 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, 所以

$$T_n = 2\pi\sqrt{\frac{I_n}{k}} \quad (1)$$

式中 I_n 为滑块系统对中心轴的转动惯量.

设不放滑块时杆的转动惯量为 I_1 , 滑块对过质心沿任一直径的转动惯量为 I_2 , 由平行轴定理有

$$I_n = I_1 + I_2 + md^2 n^2 \quad (2)$$

此时滑块质心距转轴距离为 nd , 将(1)式变形有

$$T_n^2 = \frac{4\pi^2}{k} I_n \quad (3)$$

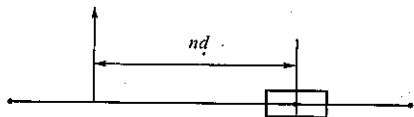
式(2)中 m 由天平测出:

$$m_1 = 240.8 \text{ g} \quad m_2 = 241.0 \text{ g}$$

因为 $\bar{d} = 5.00 \text{ cm}$, 将式(2)代入式(3)得

$$T_n^2 = \frac{4\pi^2}{k} I_1 + \frac{4\pi^2}{k} I_2 + \frac{4\pi^2}{k} md^2 n^2 \quad (4)$$

放上一个滑块,利用转动惯量仪对 T_n 进行测量.



测得数据如下表:

n	1	2	3	4	5	6
$5T_n/s$	11.42	13.49	16.30	19.57	22.90	26.16
T_n/s	2.284	2.698	3.260	3.914	4.580	5.232
T_n^2/s^2	5.217	7.279	10.63	15.32	20.98	27.37

利用逐差法求 k

$$T_4^2 - T_1^2 = \frac{4\pi^2}{k} md^2 (4^2 - 1) = \frac{4\pi^2}{k} md^2 \times 15 = 10.10 \text{ s}^2$$

$$T_5^2 - T_2^2 = \frac{4\pi^2}{k} md^2 (5^2 - 2^2) = \frac{4\pi^2}{k} md^2 \times 21 = 13.70 \text{ s}^2$$

$$T_6^2 - T_3^2 = \frac{4\pi^2}{k} md^2 (6^2 - 3^2) = \frac{4\pi^2}{k} md^2 \times 27 = 16.74 \text{ s}^2$$

所以
$$\frac{4\pi^2 md^2}{k} = 0.6345 \text{ s}^2$$

有
$$\bar{k} = \frac{4\pi^2 md^2}{0.6435} = 0.03639 \text{ N} \cdot \text{m} = 3.639 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$$

为求 I_1 , 除去滑块测其周期, $T^2 = \frac{4\pi^2}{k} I_1$, 测得 $T = 2.09 \text{ s}$

所以
$$\frac{4\pi^2}{k} I_1 = T^2 = 4.368 \text{ s}^2$$

代入(4)式解得 $I_2 = 4.84 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

则出托盘振动周期 $T_0 = 0.764 \text{ s}$

再测出放上圆柱体时的周期 $T = 1.243 \text{ s}$

所以

$$T^2 = T_0^2 + \frac{4\pi^2}{k} I_{\text{yuan}}$$

$$I_{\text{yuan}} = \frac{T^2 - T_0^2}{4\pi^2} k = 8.861 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

用卡尺测出 $d = 10.00 \text{ cm}$, 所以

$$m = \frac{2I}{R^2} = \frac{2I}{d^2/4} = \frac{8I}{d^2} = 708.8 \text{ g} = 7.09 \times 10^{-1} \text{ kg}$$

黑龙江省

一、测量一团漆包线的长度

[仪器和用具] 天平 1 台, 卡尺 1 把, 水杯及支架各 1 个, 细棉线 1 轴, 待测漆包线 1 团, 砝码 1 套, 镊子 1 只。

[要求]

1. 简述实验步骤。
2. 写出计算过程及结果。

二、用电桥平衡法测电阻

[仪器和用具] 直流稳压电源 1 台, 滑线变阻器 1 只(刻度值不准, 只供参考), 数字万用表 1 块, 电阻箱 1 个, 开关 1 个, 待测电阻 1 只。

[要求]

1. 画出电路图。
2. 简述实验步骤。
3. 写出计算过程及结果。

三、测量分光计上平行光管狭缝的宽度

[仪器和用具] 分光计 1 台, 钠光灯 1 台。

分光计上的望远镜物镜的焦距为 f_1 , 且已设置望远镜分划板与物镜的距离为 f_1 , 平行光管凸透镜的焦距 f_2 为 17.0 cm 。

[要求]

1. 画出光路图.
2. 简述实验步骤.
3. 写出计算过程及结果.

江苏省

一、测量物体的质量

[仪器和用具] 可升降挂杆 1 个, 弹簧 1 个, 秒表 1 只, 质量相等的螺母若干, 待测物体 1 个(五角硬币), 纸片, 剪刀, 胶带纸.

假定每个螺母质量 1.00 g , 在给定的用品下, 测量未知物体(五角硬币)的质量.

[要求]

1. 详细写出实验步骤.
2. 用作图法处理数据.
3. 分析讨论本实验误差的主要来源.

二、用示波器测量二极管伏安特性

[仪器和用具] 双踪示波器, 函数信号发生器, 二极管, 电阻 R (取 $R = 100\ \Omega$), 导线, 坐标纸.

[要求]

1. 画出测量电路图.
2. 当信号发生器输出在 1 V 左右时, 观察电路中各点的波形, 并定量描绘出各波形.
3. 用逐点法测量 $0 \sim 1\text{ V}$ 范围内二极管伏安特性.
4. 用示波器直接观察二极管伏安特性曲线, 并定量地在坐标纸上描绘出该曲线.

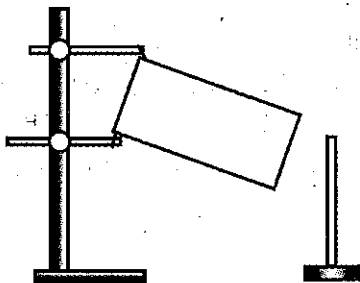
[注意]

1. 函数发生器只用正弦波形, 频率取 1 kHz 左右.

2. 示波器和函数发生器的地线已互相连接。

浙江省

一、有一均匀矩形板悬挂在支架上, 如图所示, 轻拨板的右侧使它绕旋转轴做小幅度摆动



[仪器和用具] 均匀矩形板, 支架, 刻度尺, 秒表, 线, 标志杆, 悬垂线.

[要求]

1. 请回答: 摆的振动周期与哪些因素有关(无须推导过程)? 有何种关系?

2. 用实验检验是否满足这种关系(由于时间的限制, 只要求对每一因素测量两组数据). 将测量数据记录在自己设计的表格中, 并分析实验的结果.

二、测量石蜡的密度

[仪器和用具] 无刻度烧杯 2 只(内有水), 石蜡块, 小水盆, 垫块(可放置烧杯), 细橡皮管, 针 1 根. (已知水的密度 $\rho_{\text{水}} = 1.00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

[要求]

1. 写出测量原理公式.

2. 测量相关数据,记录在自己设计的表格中,并计算出实验结果。
3. 说明误差的主要来源,估测实验结果误差的大致范围。

安徽省

一、测量电阻阻值

[仪器和用具] 甲电池 2 只,滑线变阻器 2 只,电压表(量程 1 V)1 只,毫安表(量程 15 mA)1 只,单刀开关 3 只,待测电阻 1 只,导线若干。

[要求]

1. 所用电路无系统误差。
2. 画出电路图,标明电表正负极性。
3. 写出实验步骤。
4. 测出数据并计算结果,只需要测量一次数值。

二、测墙壁高度

[仪器和用具] 长方形镜面玻璃(一侧贴白纸一条)1 块,小支架(上张黑线一条)1 个,小尺 1 把。

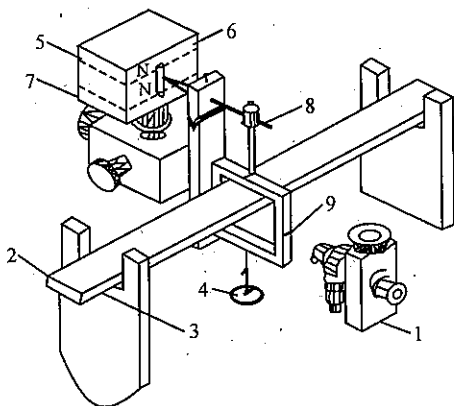
[要求]

1. 墙壁高度不允许直接测量。
2. 画出光路图,推导公式,写出测量步骤。
3. 记录测量数据;计算结果。只要求测量一组数据值。
4. 玻璃的厚度对光线反射的影响不计。

福建省

一、用梁弯曲法测给定金属片的杨氏模量

[仪器和用具] 测量装置 1 套如图(除去 5,6,7,8 部分),千分尺,游标卡尺,米尺。



1. 读数显微镜 2. 横梁 3. 刀口 4. 砝码 5. 有机玻璃盒(内装磁铁)
 6. 磁铁(两块) 7. 三维调节架 8. 铜杠杆(杠杆顶端装有 95 A 型集成霍尔传感器) 9. 铜刀口上基线

[测量原理] 在横梁弯曲状况下(弹性限度内), 杨氏模量公式为

$$E = \frac{d^3 mg}{4a^3 b \Delta Z} \text{ N/m}^2$$

其中: d 为两刀口间距

a 为梁的厚度

b 为梁的宽度

m 为加挂砝码的质量

ΔZ 为梁中心由于外力作用而下降的距离

g 为重力加速度, $g = 9.79144 \text{ m/s}^2$

[要求] 测量有关物理量, 其中挂码为片码, 10 g 和 20 g 两种, 测量 m 分别为 30, 50, 70, 90, 110 g 对应 ΔZ 的值, 列表, 作 $m - \Delta Z$ 图, 在图中求出斜率并代入公式, 求出 E 。

[说明] 读数显微镜分划板刻度每格 1 mm; 读数鼓轮每格

.01 mm. 测微目镜组可调, 镜筒锁紧螺丝用于调物距后固定显微镜.

二、用给定仪器测干电池的电动势及内阻

[仪器和用具] 电阻箱 2 个, 指针式检流计 1 架, 标准电池 1 个, 直流稳压电源 1 台, 47 k Ω 电位器 1 个(保护检流计用), 单刀双掷开关 1 个, 十圈电位器 1 只, 待测干电池 1 组(约 4.5 V), 导线若干.

[要求]

1. 写出实验原理, 画出电路图.
2. 写出实验步骤及计算公式, 画出数据表格(包括测量数据及所选参数).
3. 测量结果有 3 位以上有效数字.

[注]

1. 十圈电位器是 1 阻值可调的精密电阻.
2. 标准电池是电动势的标准器, 其 $E_N = 1.0186$ V.

三、利用所提供的器材测量给定的某种透明液体在 e-Ne 激光波长处的折射率

[仪器和用具] He-Ne 激光器(波长 632.8 nm, 配小孔光阑、升降的支架等) 1 台, 分光计[附使用说明书, 配平面反射镜, 但不可使用其中的准直(平行光)管和望远镜系统] 1 台, 全反射三棱镜 2 块, 凸透镜 2 块, 观察屏 1 个, 白纸若干张, 某种透明液体(已知其折射率小于棱镜的折射率)若干.

[要求] 在 45 分钟内, 除了完成实验操作外, 还应提交简明扼要的实验报告, 其中应包括: 实验路线(原理或方案), 测量关系式(公式), 光路示意图(应注明图中的符号), 实验条件(包括仪器应满足的状态), 原始数据和测量结论, 分析与讨论.

[特别注意] 绝对禁止激光束直射眼睛!

· 参考解答 ·

三、

1. 实验路线与方法:

(1) 利用分光计和激光束以及自准直原理, 采用最小偏向角法测出三棱镜的折射率 n ;

(2) 使待测液体含夹在 2 块三棱镜之间组成复合棱镜, 将激光束从复合棱镜的一侧入射, 转动复合棱镜以改变入射光束的入射角, 肉眼观察另一侧的出射光束的光强变化情况, 利用所发生的全反射现象可推算出该液体的折射率 n_x .

2. 测量关系式(公式):

三棱镜的折射率

$$n = \frac{\sin \frac{A + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin i_c}{\sin \frac{A}{2}}$$

其中 A 为三棱镜的顶角, 而 δ_{\min} 为该顶角所对应的最小偏向角, i_c 为对应的入射角(如图). 复合棱镜发生全反射(即出射光束的光强刚好为零时, $C = A \pm r$, 当 $A > r$ 时, $C = A - r$; $A < r$ 时, $C = A + r$) 时

$$n_0 \sin B = n \sin r$$

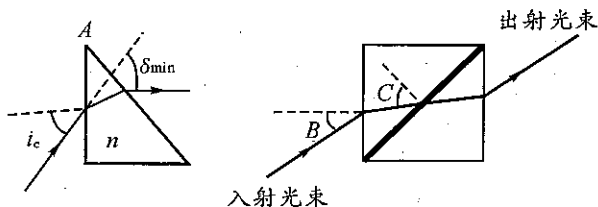
n_0 为空气折射率.

$$n \sin(A \pm r) = n_x$$

$$n_x = \sin A \cdot \sqrt{N^2 - \sin^2 B} \pm \cos A \cdot \sin B$$

其中 B 为入射角, 而 r 为该入射角所对应的折射角(见图).

3. 光路图:



4. 实验条件:

(1) 激光束应与分光计转轴垂直,即平面镜转 180° 前后反射回激光束出射面的光点应能与小孔光阑重合.

(2) 三棱镜以及复合镜玻璃棱边应平行于分光计转轴.

5. 原始数据和测量结论(略).

6. 分析与讨论(略).

江西省

一、密度测量

[仪器和用具] 物理天平,烧杯,纯净食用盐,不记质量细线,玻璃小瓶,小棒,清水.

[要求] 测出纯净食用盐的密度 ρ . 并清楚写出测量步骤.

二、滑线电阻的分压特性研究

[仪器和用具] 电压表,直流电源,滑线变阻器,负载电阻,开关,导线若干.

[要求]

1. 电路图.

2. 滑线电阻 R_0 、负载电阻 R_L 、电源电压 V_0 、负载电压 U 之间的关系.

3. 根据关系至少做 3 种电阻匹配的分压关系.

4. 画出分压特性图, 得出结论.

三、设计一个 $\times 1 \Omega$, $\times 10 \Omega$ 的欧姆表

[仪器和用具] 电流表(表头), 电源, 电位器, 固定阻值电阻 2 个, 开关, 导线若干.

[要求]

1. 电路图, 接线图.

2. 取一组特定 R_{xi} 测出相应的电表偏转格 d_i .

3. 根据 R_{xi} 、 d_i , 在 90° 角的扇形弧线上标出欧姆表的刻度.

山东省

一、弹簧振子特性研究及重力加速度测量

[仪器和用具] 支架, 不同质量(质量未知)的重物若干, 秒表, 米尺, 坐标纸等.

[要求]

1. 利用所给器具自己设计实验方法, 验证振动周期与重物质量之间的关系

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_0}{k}}$$

式中 T 为弹簧振子的振动周期, k 为弹簧的劲度系数, m 为外加砝码的质量, m_0 为弹簧和标竿的等效质量.

2. 利用 1 的数据求出重力加速度 g 的值.

3. 写出实验原理和必要的推导过程.

4. 写出完整的实验步骤、计算方法或绘制必要的图.

5. 实验中弹簧、标杆等的质量不能忽略.

二、电学黑盒子——航标灯的制作

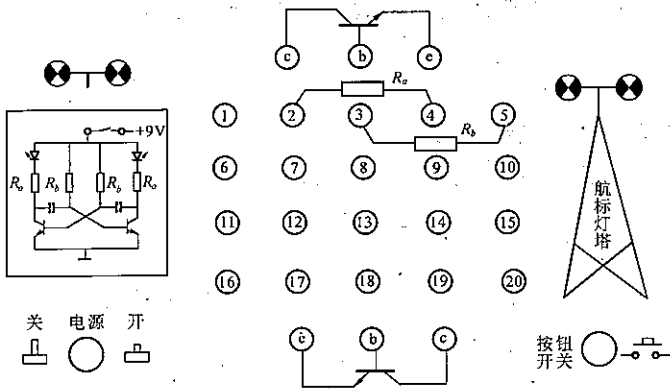
航标灯的原理图如下, 图中所需器件均装入盒内. 已知盒内含有电阻、电容、发光二极管、晶体三极管、直流电源、按钮开关、

电源开关等器件分别安装在各接线端子上,其中有部分器件(如 R_a 、 R_b 、BG1、BG2) 已标出. 试运用合适的仪器和正确测量方法对这些器件进行判断,并选出合适的器件分别组合成自动控制的航标灯和手动控制的航标灯.

[仪器和用具] 数字万用表及其使用说明书, 黑盒子, 航标灯原理演示电路, 接插导线等.

[要求]

1. 按下示范航标灯原理图下的电路开关, 观察原理图上的发光二极管的发光情况.
2. 判断出各器件在盒子内的位置, 简述实验步骤.
3. 对于发光二极管判断出它的极性(判断方法与晶体二极管相似).
4. 利用盒内的器件, 参照示范航标灯原理电路图, 自组一个自动控制的航标灯.
5. 另外自组一个简易的手动控制航标灯(即每按一次按钮, 灯亮一次, 只控制一个灯. 所用元件仍从盒内选用).



[说明]

1. 黑盒子中的每个器件接在两个接线端上, 器件之间不混联。

2. 电容极性约定, 接线端子序号小的一端为“+”, 序号大的一端为“-”。

• 参考解答 •

二、

1. 器件判断

利用逐一排除法, 根据器件特性进行识别判断。

● 首先找出电源——用万用表直流电压 20 V 档, 逐点测量, 有 10 V 显示的端子上即有电源, 在图中标出或记下端子编号, 例如, (6)(11) 接有电源, 且(6)为电源正极, 这两个端子在今后的检测中无须再检测;

● 用万用表欧姆表(建议 10 k 档)测出图中标示的 R_a 、 R_b 的阻值, 以便确定另外的 R_a 和 R_b ;

● 用万用表欧姆档检测电阻、电容、按钮开关和发光二极管:

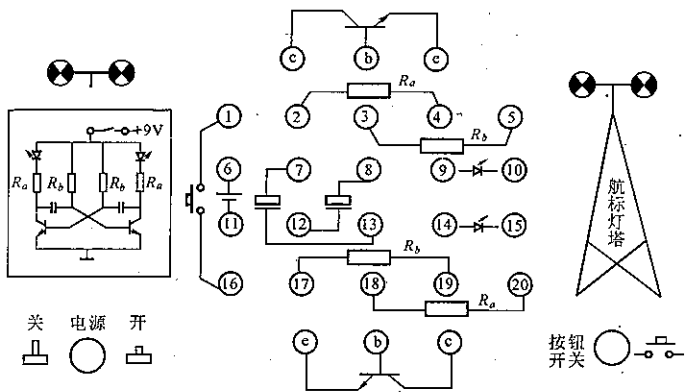
(1) 有确切阻值的是电阻。

(2) 有充、放电现象的是电容。

(3) 正反阻值相差悬殊的是发光二极管, 且电阻小时, 红表笔一端为发光二极管正极, 进一步用万用表二极管档检测, 若极性相符, 则发光二极管亮。

(4) 按下按钮开关, 电阻为零的端子接有按钮开关。

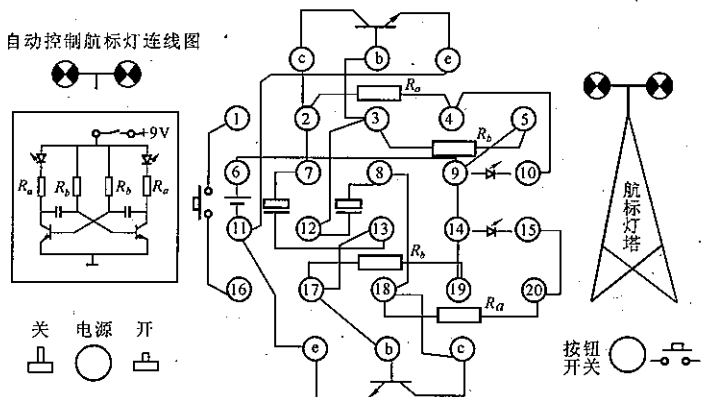
● 黑盒中的器件布局图



2. 组装自动控制航标灯

[注意] 本题要求旨在自动控制, 因此按钮开关不接.

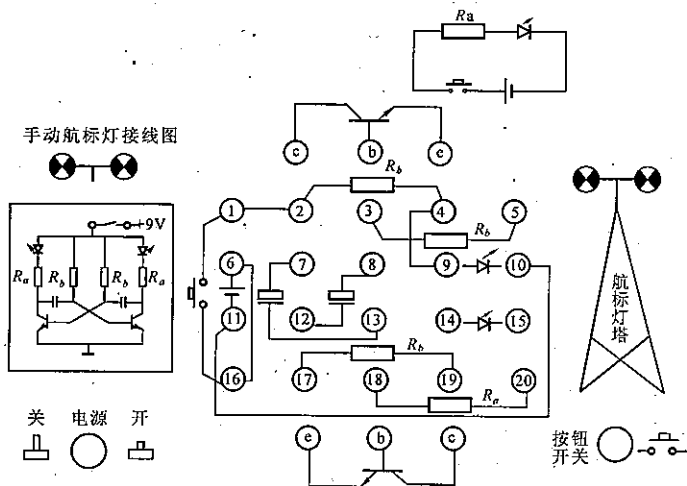
● 自动控制航标灯连线图



3. 组装手动控制航标灯

● 画出控制原理图

● 手动航标灯接线图



河南省

一、用光干涉的方法测量所给平凸透镜(牛顿环)的曲率半径 R

[仪器和用具] 牛顿环仪, 读数显微镜, 钠光灯(波长为 589.3 nm)。

[要求]

1. 仪器调整完毕, 观察到牛顿环, 开始记录数据时举手示意。(可以要求提示, 并扣除相应的分数)

2. 由测量公式 $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m - n)\lambda}$ 简述实验基本原理。式中 R 是待测牛顿环的曲率半径, D_m 、 D_n 是干涉环的直径, m 、 n 是干涉环的级数。

3. 选择 3 组不同的 m 、 n 值,并使 $(m - n) = 5$ 不变,记录原始数据,计算 R 的平均值.

[提示] 读数显微镜结构图及使用说明(略).

二、请用所给实验仪器测量超声波在空气中的传播速度 v

[仪器和用具] 超声测速仪,双踪示波器,信号发生器,同轴电缆.

[要求]

1. 正确连接超声测速仪、双踪示波器、信号发生器之间的同轴电缆,调出波形.(可以要求提示,并扣除相应的分数)

2. 简述测量原理,给出测量公式.

3. 数据采集要求至少 10 个,至少分 5 组用逐差法处理数据,计算波长的平均值和超声波在空气中的传播速度 v .

[提示]

1. 准确测定超声系统在 S_1 和 S_2 两端接近时(应避免相互接触)的固有频率 f ,用示波器 Y_1 检测输入信号,示波器 Y_2 检测输出信号.

2. 本实验利用信号源输出的正弦交流电激励发射换能器 S_1 中的压电晶体,使其振动发射超声波(频率大于 30 kHz).当输入到 S_1 中的信号频率 f 与 S_1 中压电晶体的固有振动频率相等时引起共振,驻波有最大振幅,能有效地实现电 - 声转换,发射出较强的超声波.

沿着声波的方向,设置另一个与 S_1 正对的换能器 S_2 ,用于接收超声波并输出电信号,所接受的信号幅度每一次周期性变化,相当于 S_1 和 S_2 之间的距离改变半个波长.电信号送至示波器,即可对信号强弱进行检测.信号源与双踪示波器的基本使用面板.

3. 驻波法和相位比较法任选一种即可.

湖北省

一、测量金属丝的电阻 R_x

[仪器和用具] 甲电池 3 节, 开关 1 个, 直流指针式检流计 1 个(其中检流计上的“电计”旋钮是开关按钮), 电阻箱 2 个(其中 1 个作为检流计的保护电阻), 带夹子的导线以及其他导线若干, 横截面均匀的被测金属丝(已固定在有米尺的板子上).

[要求]

1. 画出实验电路图(可只画一个原理性电路图), 简述原理并推导出有关公式.

2. 简述主要实验步骤.

3. 连接电路并进行实验, 列表记录实验数据.

4. 计算出被测金属丝的电阻 R_x .

二、测量待测弹簧的劲度系数

[仪器和用具] 气垫导轨 1 套(包括光电门、挡光片、滑块), 计时器 1 个, 质量为 50.0 g 砝码 2 个, 各物理量完全相同的弹簧 2 根, 待测弹簧 1 根. 待测弹簧的有效质量为 3.50 g, 滑块、挡光片质量共 315.0 g.

[要求]

1. 简述实验原理, 写出有关公式.

2. 写出主要实验步骤.

3. 列表记录实验数据.

4. 计算出待测弹簧的劲度系数.

三、测量凸透镜的焦距

[仪器和用具] 光具座(无标尺或标尺不准) 1 个, 光源 1 个, 平面反射镜 1 个, 双棱镜 1 个, 测微目镜 1 个, 凸透镜 2 个(其中一个透镜的焦距 f_1 为 30.0 cm, 另一个透镜的焦距 f_2 待测).

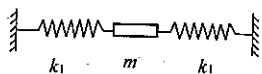
[要求]

1. 简述实验原理, 画出光路图, 写出有关公式.
2. 写出主要实验步骤.
3. 列表格记录测量数据.
4. 计算出待测透镜的焦距 f_2 .

· 参考解答 ·

二、

两个劲度系数均为 k_1 的弹簧, 系在一个质量为 m 的物体在光滑的水平面上做振动(如图所示), 其物体做简谐振动, 振动周期为 T .



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_0}{k_1 + k_1}} \quad (1)$$

m_0 为两弹簧的总有效质量. 当物体质量为 $m + \Delta m$ 时, 其振动周期为

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m + \Delta m + m_0}{k_1 + k_1}} \quad (2)$$

当把劲度系数为 k_1 的一根弹簧换为劲度系数为 k_x 的弹簧, 振动周期

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m + m_0'}{k_1 + k_x}} \quad (3)$$

m_0' 为劲度系数为 k_1 、 k_x 的两弹簧的总有效质量.

联解式(1)、(2)、(3) 可得 k_x .

湖南省

一、用拉脱法测定水的表面张力系数

[仪器和用具] 焦利秤, 500 mg 的砝码若干, 水, 烧杯, 刀形

金属丝线框,游标卡尺,千分尺,酒精棉等.

[要求]用焦利秤采用拉脱法测定室温下水的表面张力系数.如果考虑水膜的重力,那么,对测量结果的影响所占的比例多大?如果考虑水的浮力,那么,对测量结果的影响所占的比例又是多大?

二、测定线性电阻的伏安特性及其阻值

合理利用实验台上的器材,组成一个尽可能精确的测量电路,测定一线性电阻的伏安特性曲线及其电阻值.

[仪器和用具]

直流稳压电源1台,毫安表、电压表、检流计、电阻箱各1只,滑动变阻器2只,单刀双掷开关2只,待测电阻1只(功率0.25W),导线16根.

[要求]

1. 画出电路图,所有元器件必须使用.
2. 简述测量原理及电路特点.
3. 指明电阻箱的作用及取值.
4. 在0 ~ 6V区间,测量电压、电流,自拟数据表格,作出伏安特性曲线.要求选择适当的测量点及相应的电表量程,测量数据必须标明电表量程.
5. 根据伏安特性曲线,求出电阻值.
6. 误差估算及分析.

广东省

一、测量液体密度 ρ_x (3位有效数字)

[仪器和用具] 细木条,细绳,重物(1段蜡烛,1块金属,1只铁夹),米尺,支架,纯水($\rho_{\text{水}} = 1.000 \text{ g/cm}^3$),待测液体,小刀等.

[要求]

1. 画装置原理图.
2. 写出原理式.
3. 简要写出步骤.

二、用比重瓶测液体密度(3位有效数字)

[仪器和用具] 天平, 比重瓶, 待测液体, 纯水. (密度 $\rho = 1.000 \text{ g/cm}^3$)

[要求]

1. 写出原理式.
2. 写出简要步骤.
3. 单次测量.

三、用光学方法测圆柱面镜的焦距 f 及曲率半径 R

[仪器和用具] 面镜, 米尺.

[要求]

1. 写出原理式.
2. 画光路图.

四、用电桥原理测量并作出某电阻正向伏安特性曲线

[仪器和用具] 电阻箱 4 只, 保护电阻(并联短路开关), 滑线电阻, 直流稳压电源, 直流电流表($100 \mu\text{A}$, 内阻已标在表盘上), 检流计, 待测电阻(通过的电流取值范围 $1 \sim 10 \text{ mA}$), 开关, 导线, 坐标纸等.

[要求]

1. 画出全部测量电路图.
2. 写出实验原理式.
3. 电路能直接测出电流值.
4. 写出简要步骤.

广西壮族自治区

一、研究弦的张力与波速之间的函数关系

[仪器和用具] 弦线振动实验装置1套(见仪器介绍,其中托盘连同金属链的质量 $m_0 = 10.0 \text{ g}$), 砝码1套, 镊子1支, 坐标纸1张.

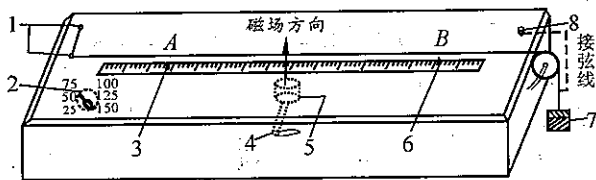
[要求] 经理论研究, 推知均匀弦线上振动的传播速度(即波速) v 与弦线受到的张力 F_T 之间有如下函数关系: $v = aF_T^k$, 其中 a, k 为常量. 试用上述装置和用具, 取弦线的振动频率 $f = 100 \text{ Hz}$, 通过实验证实上述推断是正确的, 并确定常量 k 的值.

1. 写出实验原理、方法和有关的公式.
2. 正确测量和记录、处理实验数据, 给出实验结果, 作出必要的结论.

[仪器介绍及有关说明]

1. 仪器介绍

如图1, 均匀金属弦线一端固定在接线柱1, 另一端通过滑



1. 接线柱 2. 变频电源 3. 劈尖 4. 移动装置 5. 磁铁 6. 劈尖
7. 砝码 8. 接线柱

图1 弦振动实验装置外形图

轮悬挂砝码7, 弦线因而受到张力 $F_T = mg$ (取 $g = 10 \text{ m/s}^2$). 变频电源通过接线柱向弦线导入交变电流(实验取电源频率 $f = 100 \text{ Hz}$), 在磁铁5的磁场作用下, 弦线以频率 f 发生振动并以横

波的方式在弦线中传播. 由于劈尖 3、4 是弦线两端的支点, 波分别在劈尖 3、4 发生反射, 于是在弦线中存在相向传播的两列波, 将会相互干涉叠加. 劈尖可以在槽内移动, 因此弦线的长度 l (即两劈尖的距离 AB , 可借助标尺读出) 可以改变.

当弦长 l 满足驻波条件 $l = n \frac{\lambda}{2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时, 可观察到清晰的驻波, 此时有些点的振幅为零, 称为波节 (A 、 B 两点恒为波节), 有些点的振幅最大, 称为波腹. 图 2 给出 $n = 1$ 和 $n = 2$ 时弦的振动图像. 通过移动装置 4 适当移动磁铁的位置可把弦线的振动调整到最佳状态 (振幅足够大, 且振动方向与磁场方向垂直).

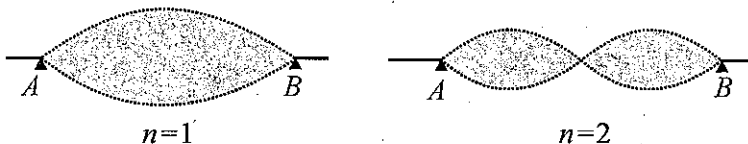


图 2 驻波波形图

2. 注意事项

- (1) 变频电源的频率需调到 100 Hz (允许偏差为 ± 1 Hz).
- (2) 实验中, 小心不要拉断弦线, 放砝码动作要轻, 避免掉地.

二、测量未知电阻 R_x 的值

[仪器和用具] 干电池, 多量程毫安表 (量程为 1.5 ~ 300 mA, 0.5 级), 滑动变阻器、开关各 1 只, 标准电阻 R (约 100 多欧, 其准确值由实验室给出) 1 只, 待测电阻 R_x (约 100 多欧) 1 只, 导线若干.

[要求] 用上述器材测量未知电阻 R_x 的值.

1. 写出实验方法 (包括电路图)、步骤和有关的计算公式.

2. 回答如何选择电流表的量程, 可使 R_x 的测量误差最小.

3. 记录和处理实验数据, 给出实验结果.

[注意事项]

1. 干电池、电流表等内阻未知, 但不可忽略.

2. 电路连接完毕先举手示意, 请监考教师检查同意后方可接通电源.

三、测量平凸透镜的曲率半径 R

[仪器和用具] 牛顿环仪和读数显微镜 1 套, 钠光灯 1 套(作为单色光源, 其波长 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$).

[要求]

1. 写出实验步骤、数据处理的方法和有关的公式.

2. 正确测量和记录、处理实验数据, 给出 R 和它的误差 ΔR .

海南省

本地区试题分两部分: 实验部分和笔答部分.

实验部分

一、用阻抗法测定电容器的电容

[仪器和用具] 示波器, 低频信号发生器, 电阻箱, 待测电容器, 导线若干.

[要求]

1. 用以上器材测电容器的 C 值.

2. 简要写出实验原理、步骤及实验数据(待测量每个测 3 次), 并求出结果(不必计算误差和分析误差来源).

[说明]

1. 本实验使用的交流电频率为几百赫到几十千赫时, 被测电容器可视为纯电容元件.

2. 本实验统一取信号发生器的输出频率 $f = 4 \text{ kHz}$, 电阻箱的阻值等于 $4 \text{ k}\Omega$.

二、用干涉法测钢丝的直径

[仪器和用具] 读数显微镜, 钠光源(钠光波长为 589.3 nm), 楔形平面玻璃组(它由两块光学平面玻璃组成, 一端紧密接触、另一端夹待测钢丝).

[要求]

1. 用干涉法测待测钢丝的直径.
2. 用逐差法处理数据.

笔答部分

一、关于误差

1. 填空题

误差的产生有多方面的原因, 根据误差的性质及产生的原因, 可分为系统误差、偶然误差、过失误差 3 种, 请判断下面几种情况各属于哪种误差, 并填在括号内.

(1) 在温度 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 制作的铁尺, 在 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下测量物体长度, 由于尺的收缩引起的误差属().

(2) 用单摆测重力加速度时的公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 是在摆角 $\theta = 0$ 条件下的结果. 而实验时, 却要令 $\theta < 5^\circ$ 下进行, 这种由于理论公式的理想近似而引起的误差属().

(3) 在测某些精度较高的参量时, 受到外界环境的干扰(如振动、气流等)从而使测量产生的误差属().

(4) 某学生由于过度疲劳, 对仪器使用的方法也不正确, 造成数据记录错误属().

2. 判断题(在对的后面打“√”, 错的后面的“×”)

(1) 系统误差可以通过增加测量次数来减少它()

(2) 关于偶然误差, 正误差和负误差出现的概率是一样的
()

二、关于有效数字

1. 3.5 cm 和 3.50 cm 是测某物长度时记录的数据, 其含义有什么不同?

2. 0.23 kg 与 0.002 3 kg 分别是几位有效数字?

3. 某物长 $L = 43.6$ m, 请用单位 km 和 cm 分别表示它.

4. 计算结果(数字下有一横线的代表可疑数字)

(1) $32.\underline{1} + 3.27\underline{6} =$

(2) $26.\underline{65} - 3.92\underline{6} =$

(3) $0.003\ 45\underline{6} \times 0.03\underline{8} =$

(4) $37\ 64.\underline{3} \div 21\underline{7} =$

5. 有甲、乙、丙、丁 4 人用螺旋测微计测一球直径, 各人所得的结果表达式中哪一个正确(在正确的后面打“√”)

(1) 甲: $(1.283\ 2 \pm 0.000\ 2)$ cm ()

(2) 乙: $(1.283 \pm 0.000\ 2)$ cm ()

(3) 丙: $(1.28 \pm 0.000\ 2)$ cm ()

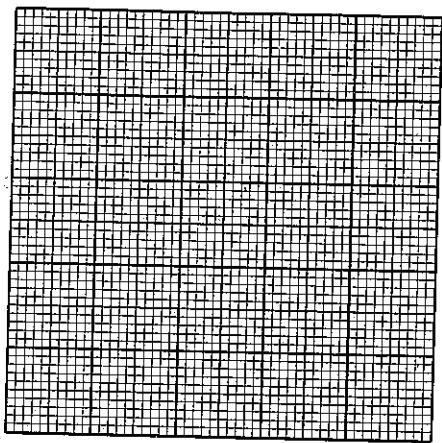
(4) 丁: $(1.3 \pm 0.000\ 2)$ cm ()

三、关于数据处理方法

某物体做匀加速直线运动, 运动方程为 $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$, 测得一组 s 和其对应 t 的数据如下表所示.

次数 \ 测量量	1	2	3	4	5
s/cm	70.00	80.00	90.00	100.00	110.00
t/ms	281.79	306.60	330.54	353.37	374.65

请用作图法求出 a 和 v_0 , 然后写出运动方程的表达式.



四川省

一、测量弹簧的劲度系数和质量

[仪器和用具] 气垫导轨, 通用电脑计数器, 滑块, 配重块, 挡光条, 1 cm 挡光片, 弹簧.

[要求]

1. 简要说明测量的方法和步骤.
2. 列表给出原始测量数据.

[说明]

1. 弹簧振子的振动周期为 $T \approx 2\pi\sqrt{\frac{1}{2k}\left(m + \frac{2m_s}{3}\right)}$, m_s 为弹簧质量, k 为劲度系数.

2. 滑块及其上配件共重 332 g, 配重块每块 50 g.

二、测定液体的比热

[仪器和用具] 量热器, 温度计, 电子天平, 直流电压表, 直流电流表, 直流稳压电源, 导线, 小量筒, 待测液体, 水, 手表(自

备)。

[要求] 写出实验原理、实验步骤、数据记录及处理。

[说明]

1. 安装在量热器盖上的两根通电铜棒质量共为 56 g.
2. 量热器内筒、搅拌器均为铜制, $c_{\text{铜}} = 0.385 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
3. 温度计浸入液体部分的热容 $C = 1.94 \text{ V J} \cdot \text{K}^{-1}$, 其中 V 为温度计浸入液体的体积(单位: cm^3).
4. 通电电阻丝质量忽略不计.

三、请用提供的器材, 先测试出一信号灯的点燃电压范围, 然后以亮点电压(点燃电压上限减 0.8 V) 为准, 按节约用电的原则组成一电路将其点亮, 并计算出该电路的耗电功率。

[仪器和用具] 电压表, 干电池, 电阻箱(即可调电阻器, 电阻箱现置阻值为 $98\ 765.4 \ \Omega$), 导线若干。

[要求] 除题目要求外, 还要结合实验电路写出实验方法。

四、利用迈克耳孙干涉仪测量钠光的波长

[仪器和用具] 迈克耳孙干涉仪, 钠光灯, 直尺。

[要求]

1. 简要叙述本实验的原理(应包括迈克耳孙干涉仪中实现干涉的两个必要条件, 计算钠光波长的数学表达式)。
2. 简要说明本实验的步骤。
3. 在本仪器上实现干涉。
4. 计算钠光的波长。
5. 完成一份完整的实验报告。

贵州省

一、测量一均匀金属柱的密度

[仪器和用具] 物理天平, 金属柱(中间贴有一小段标尺),

米尺,细线,烧杯(直径与高度均小于金属柱的长度),纯水(密度 $\rho_0 = 1.00 \text{ g/cm}^3$).

[要求]

1. 导出测量公式.
2. 正确操作天平.
3. 写出测量步骤.
4. 测量数据.
5. 计算出结果.

[说明] 金属柱的横截面处处相等,但不是标准圆.

二、用电桥法测量一个电压表 7.5 V 档的内阻和一未知电阻的阻值

[仪器和用具] 直流稳压电源 1 台,电压表 1 个,标准电阻箱 1 个,滑线变阻器 1 个,已知电阻(1.5 k Ω)1 个,与 1 只硅二极管串联的待测电阻 1 个,单刀开关 2 个,导线若干.

[要求]

1. 画出测量电路图.
2. 写出测量步骤.
3. 测量(只作单次测量).
4. 计算出最后结果.

[说明]

1. 电源供电电压 7 V.
2. 电压表不能作指零表用.

三、测量三棱镜的折射率

[仪器和用具] 读数显微镜,待测三棱镜,报纸碎片,镜头

[要求]

1. 画出测量光路图.

2. 说明测量步骤.

3. 测量数据.

4. 计算出结果.

[说明]

1. 不许用手触及棱镜光学面.

2. 棱镜光学面朝下放置时,需垫上镜头纸.

3. 棱镜轻拿轻放,不能撞击和掉落地上.

云南省

一、测量 A_4 纸的密度

[仪器和用具] 物理天平 1 台,游标卡尺 1 把, A_4 纸 1 张.

[要求]

1. 简要说明实验原理、测量步骤.

2. 每次测量纸的厚度,要求至少有 3 位有效数字,简述测量方法.

3. 测定相应的物理量 5 次,计算出 A_4 纸的密度.

4. 回答问题:通过实验和计算说明,如要求测量密度至少为 3 位有效数字,如何选择测量仪器达到要求?

二、用直流单臂电桥测量二极管正向伏安特性

[仪器和用具] 电流表 1 只,电压表 1 只,检流计 1 只,可变电阻箱 2 只,滑线变阻器 2 只,稳压电源 1 台,单刀开关 2 只,待测二极管 1 只,万用电表 1 只.

[要求]

1. 自组电桥测量二极管正向伏安特性.

2. 画出实验原理图,简要说明实验原理、测量步骤.

3. 正确连接电路,测量二极管正向伏安特性(最少测 8 组数据).

4. 用坐标纸描绘二极管正向伏安特性曲线。

[注意事项]

电路连接完毕,须经监考教师检查后方可通电实验。

三、测定凹透镜的焦距

[仪器和用具] 光具座,凸透镜,凹透镜,光源,物屏,像屏。

[要求]

1. 利用给定的装置和光学元件,设计一个测定凹透镜焦距的光路;画出测量光路图。

2. 写出测量方法和公式。

3. 测定相应的物理量 3 次,计算出凹透镜的焦距。

陕西省

一、组装正、负电压连续可调的直流电源

[仪器和用具] 降压变压器,滑线变阻器,电阻箱,数字万用表(仅限于使用电压档,内阻 $10\text{ M}\Omega$),单刀双掷开关以及待测元件各 1 只,二极管,电解电容及导线若干。

[要求]

1. 选择器材实现正、负电压连续可调的直流电源;要求在答卷纸上画出电路原理图,连接线路并实现(举手示意监考教师检查结果)。

2. 测绘该直流电源的内阻 r 和电源电动势 E 的关系曲线 ($r-E$ 曲线)。要求画出电路原理图,简述测试方法,连接线路并列出测量数据,在坐标纸上描绘 $r-E$ 曲线。

3. 借助该直流电源测绘非线性元件的正、反向伏安特性曲线 ($I-V$ 曲线),要求画出电路原理图,简述测试方法,连接线路并列出测量数据,描绘 $I-V$ 曲线(待测元件的电流不大于 $100\text{ }\mu\text{A}$,其红色引线为正极)。

二、测定待测物体的密度

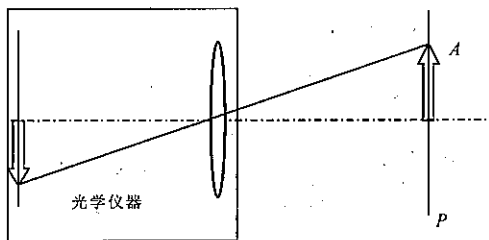
[仪器和用具] 1 000 ml 烧杯(内装纯净水, 密度为 1.00 g/cm^3), 500 ml 烧杯, 量筒, 试管, 滴管, 游标卡尺, 卷尺, 食用盐, 待测物体, 木棍, 直尺, 铅笔, 坐标纸等.

[要求].

1. 使用两种不同的方法测定待测物体的密度, 其中一种方法的测量数据不少于 8 组.

2. 分别简述测量方法, 推导测量公式, 求出测量结果.

三、一台光学仪器如下图所示, 在 P 处成实像, 像高为 A , 利用所给器材获得像高为 $2A$ 的实像(与原像同方向).



[仪器和用具] 光具座, 光学仪器内部模拟(光学仪器内部的镜片位置不能移动), 物屏, 透镜若干.

[要求]

1. 选择最少器材实现实像的放大, 并示意监考教师检查结果.

2. 根据公式推导所选的透镜放置的位置及像的位置.

3. 推导放大率的表达式.

4. 试描述所选器材组成系统的放大率与其焦点和 P 点相对位置的相互关系.

甘肃省

一、测定蜡块中金属球的质量 $m_{\text{金}}$

[仪器和用具] 物理天平 1 架, 金属块 1 个, 同体积蜡块 2 个 (其中一块内嵌有小金属球), 烧杯 2 个, 比重瓶 1 个, 小金属球、细线、吸水纸和水若干, 毛巾等.

[要求] 合理安排所给仪器, 测定蜡块中金属球的质量.

1. 导出相关计算公式, 并测出所需物理量.
2. 用比重瓶法测定出金属球的密度 $\rho_{\text{金}}$.
3. 计算出嵌在蜡块中金属球的质量 $m_{\text{金}}$.

[注]

1. 金属球不能从蜡块中取出.
2. $\rho_{\text{水}} = 1.000 \text{ g/cm}^3$.

二、用伏安法精确测量待测元件的伏安特性

[仪器和用具] 电源(内阻不可忽略), 单刀开关 2 个, 单刀双掷开关 1 个, 电阻箱 1 个, 滑动变阻器 1 只, 电压表, 电池 1 个, 待测元件(不能启封), 导线若干条.

[要求]

1. 设计、自组实验电路, 测量待测元件的伏安 ($U - I$) 特性, 要求消除仪表内阻的影响. (画出电路图, 简述实验要点)
2. 合理安排、实施伏安特性的精确测量 ($U - I$). 自拟表格, 完整记录测量数据. (测量 9 组实验数据)
3. 在直角坐标系中描绘待测元件的伏安 ($U - I$) 特性曲线.

[注意]

1. 电路设计不允许出现短路故障.
2. 电源电压的取值 $E \leq 1.5 \text{ V}$ (教师设定).
3. 电表指针示数不得超过满度值.
4. 测量中电阻箱电阻取值应大于 500Ω .

三、测定薄凹透镜的焦距

[仪器和用具] 移测显微镜, 手电筒, 玻璃柱(两端各刻有十字和线对), 待测薄凹透镜.

[要求]

1. 画出薄凹透镜成像光路图.
2. 写出得到待测薄凹透镜焦距的数学关系式.
3. 给出实验记录及结果(重复测量 3 次).

宁夏回族自治区

一、用透射光栅测定光波波长

[仪器和用具] 分光计, 平面透射光栅, 汞灯, 单缝(宽度可调).

[要求]

1. 根据提供的仪器说明书调节分光计, 使其适合平行光, 并会正确使用.

2. 调整观看到衍射光形成的光谱亮线.

3. 根据光栅方程测量 $k = \pm 1$ 级紫光、绿光、两条钠黄光的波长.(已知 $d = \frac{1}{600}$ mm, $k = \pm 1$)

4. 要求有原始数据记录, 计算的主要过程及结果.

[实验原理]

光栅是根据多缝衍射原理制成的一种分光元件, 它能产生谱线间距较宽的光谱. 如图 1 所示, 设 S 为位于透镜 L_1 物方焦点上的细长狭缝光源, G 为光栅, 相邻狭缝的间距为 d , 自 L_1 射出的平行光垂直地照射在光栅 G 上. 与光栅法线成 θ 角的衍射光经透镜 L_2 汇集于其像方焦面上的 P 点, 则产生衍射亮条纹的条件为

$$d \sin \theta = k \lambda \quad (\text{光栅方程})$$

式中 θ 是衍射角, λ 是光波的波长, k 是级数 ($k = \pm 1, \pm 2, \dots$),

d 称为光栅常量,衍射亮条纹实际上是光源狭缝的衍射像,是一条锐细的亮线.当 $k = 0$ 时,在 $\theta = 0$ 的方向上,各种波长的亮线重叠在一起,形成明亮的零级像.对于 k 的其他数值,不同波长的亮线出现在不同的方向上形成光谱(图 1).

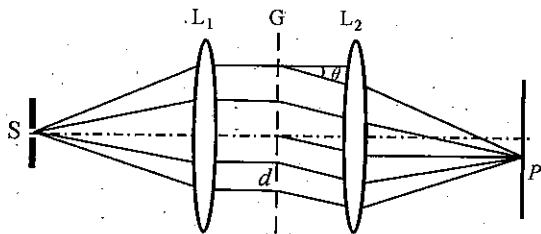


图 1 原理图

二、测量甲电池的内阻

[仪器和用具] 直流稳压电源 1 台,甲电池 1 节,电阻箱 2 个(0 ~ 9 999.9 Ω),滑线变阻器 1 个,单刀单掷开关 3 个,检流计 1 个,滑线式电位差计 1 个,数字万用表 1 个(只限于选择电位差计反上有关电阻丝的电压降),导线若干.

[要求] 试利用所给仪器及用具,设计一个实验方案,用滑线式电位差计测出甲电池的内阻 r .

1. 画出设计的电路图.
2. 简述测量方法和测试步骤(包括被测电池内阻 r 的公式推导及实验操作过程中的注意事项).
3. 动手实验操作,并记录全部实验数据(不少于 6 组数据).

青海省

一、落球法测量液体的黏滞系数

[仪器和用具] 千分尺,钢板尺,玻璃大量筒,固体小球 5 个,秒表.

[要求]

1. 通过小球下落时的受力分析, 导出液体黏滞系数的测量公式.

2. 选择适当的测量仪器, 测量出公式中的各物理量.

3. 计算液体的黏滞系数.

[说明] 小球在下落时, 其表面附着的一层液体随小球以相同的速度下落, 它与周围静止的黏滞液体之间产生摩擦, 形成对小球的黏滞液体阻力 F_f . 若小球的半径 r 较小, 则此时的黏滞阻力为 $F_f = 6\pi\eta vr$ (不考虑量筒直径对黏滞系数的影响), 式中 η 是液体的黏滞系数; v 是小球下落速度; r 是小球半径.

二、用牛顿环测量平凸透镜凸面的曲率半径

[仪器和用具] 牛顿环仪, 读数显微镜, 钠光灯(波长为 589.3 nm).

[要求]

1. 简要写出测量原理.

2. 制表记录原始数据, 计算出曲率半径.

[说明] 牛顿环是把一块很大的平凸透镜的凸面置于一光滑的玻璃板上, 则透镜与玻璃板之间就形成了一层空气薄膜, 其厚度在中心处为零, 向外逐渐增大. 当用单色平行光垂直入射时, 其上下表面分别产生的两束反射光在上表面相遇并且相干. 形成以中心触点为圆心, 内疏外密的同心圆形干涉条纹, 称为牛顿环.

$$\text{公式: } R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{\lambda(m - n)} = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4\lambda(m - n)}$$

R 为平凸透镜凸面的曲率半径, m 、 n 为不同的干涉级数(即圆数), $r_m(D_m)$ 、 $r_n(D_n)$ 分别是第 m 和第 n 级两个圆环的半径(直径), λ 为入射光波长(波长为 589.3 nm), $m - n \geq 5$.

三、利用示波器测量未知信号的频率及峰 - 峰值

[仪器和用具] 示波器, 未知信号.

[要求]

1. 测出未知信号频率.
2. 测出未知信号的峰 - 峰值.

[说明] 以上测量均要记录原始的实验数据, 并要简述测量方法.

新疆维吾尔自治区

一、用拉脱法测定水的表面张力系数

[仪器和用具] 液体表面张力系数测定仪, 硅压阻力敏传感器, 吊环, 定标砝码, 砝码盘, 玻璃器皿, 数字电压表, 游标卡尺, 纯净水, 纸巾.

[要求]

1. 写出如何测量液体表面张力的实验方法及推导公式.
2. 计算出水的表面张力系数. (要求有计算过程和数据记录)

[说明] 一个金属吊环固定在传感器上, 将该环浸没于液体中, 并渐渐拉起圆环, 当它从液面拉脱瞬间传感器受到的拉力 F 为

$$F = \pi(D_1 + D_2)\alpha$$

式中 D_1, D_2 分别为圆环的外径和内径, α 为液体表面张力系数.

[力敏传感器定标] 力敏传感器上挂上砝码盘, 依次累积加定标砝码 m , 测出相应的电压输出值 U , 根据实验结果计算出力敏传感器灵敏度 $B = U/m$. (mV/g)

[注意事项]

1. 仪器开机需预热 5 分钟.
2. 在旋转升降台时用力应均匀, 勿过猛.

二、用板式电势差计测二极管的正向伏安特性

[仪器和用具] 双路直流稳压电源(5 V)1台,电阻箱2台(1台为检流计的保护电阻),11线板式电势差计1台,检流计1台,标准电阻($10\,000\ \Omega$)1个,标准电池1个,待测二极管1个,单刀双掷开关3个,双刀双掷开关1个,导线若干.

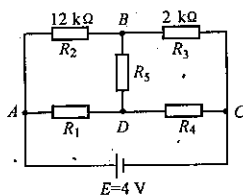
[要求]

1. 写出实验简单原理及计算公式,并画出连线图.
2. 列出实验数据及数据处理表格.
3. 画出二极管的正向伏安特性曲线.

三、测未知电阻的阻值

已知电路板的电阻的连接方式如下图所示,其中电阻 $R_2 = 12\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 2\ \text{k}\Omega$, AC 之间加电压 $U_{AC} = 4\ \text{V}$. 用所给仪器测出电阻 R_1 、 R_4 、 R_5 的阻值.

[仪器和用具] 实验电路板,直流稳压电源(4 V)1台,双踪示波器1台,直导线1根.



[要求]

1. 简述测量方法并推导出计算公式.
2. 画出在测量过程中必要的等效电路图.
3. 不允许拆开(或拆断)电路板的电路.
4. 说明误差原因.

四、用等厚干涉法测金属丝的直径

[仪器和用具] 读数显微镜,钠光灯,玻璃片2片,金属丝1根.

[要求]

1. 简要写出实验方法并推导出计算公式.

2. 至少测 10 条条纹间距。(建议测暗条纹)

3. 要有原始数据记录及计算结果。

[说明] 两玻璃片一端叠合在一起,另一端夹一金属细丝,这样在两玻璃片间形成劈尖形空气薄膜.当单色光垂直照射时,在空气膜上、下表面反射的光相遇便形成明暗相间的等厚干涉条纹(膜厚相同处生成同一条干涉条纹).测出干涉条纹间的距离 l ,就可算出金属丝的直径 D .

已知钠光波长 $\lambda = 589.3 \text{ nm}$,金属丝与劈尖顶端距离 $L = 18.129 \text{ mm}$,相邻两暗纹间所对应的薄膜厚度差为 $\lambda/2$.

西藏自治区

本试题共包括两部分:第一部分包括一、二、三、四、五、六题为实验题,必须从中选做一题,即根据抽签从中选中一题,完成完整的实验;第二部分包括七、八、九、十题为必答题.

实验题

一、根据所给出的实验器材,验证机械能守恒定律

[仪器和用具] 打点计时器,220 V 交流电源,米尺,铁架台,重物,夹子和纸带.

[要求]

1. 简要说明实验原理.
2. 列表记录实验数据.
3. 根据所得数据,验证机械能是否守恒.

二、用伏安法测定电源电动势和内阻

[仪器和用具] 电压表,电流表,电源,滑动变阻器,开关和若干导线.

[要求]

1. 简要说明实验原理.

2. 由所测数据作出 $U - I$ 曲线, 数据处理, 求出电源电动势和内阻.

三、用共轭法和公式法测定凸透镜焦距

[仪器和用具] 凸透镜, 光源, 光屏和米尺.

[要求]

1. 简要说明实验原理.
2. 绘出光路图.
3. 记录所测得的数据以及如何处理数据.
4. 求出凸透镜的焦距.

四、根据所给的实验器材, 测定当地的重力加速度

[仪器和用具] 铁架台(带夹子), 钢球, 游标卡尺, 秒表和细线.

[要求]

1. 简要说明实验原理.
2. 列表记录实验数据.
3. 求出当地重力加速度, 以及如何处理数据.

五、验证两个小球碰撞前后水平总动量守恒

[仪器和用具] 天平, 米尺, 游标卡尺, 斜槽, 重锤, 两个大小相同质量不同的小球, 纸板和复写纸.

[要求]

1. 简要说明实验原理.
2. 列表记录直接测得的实验数据.
3. 处理所得数据, 验证两个小球碰撞前后水平总动量是否守恒.

六、根据所给的实验器材, 测定透明固体材料的折射率

[仪器和用具] 玻璃砖, 量角器, 大头针, 纸板, 白纸和图钉.

[要求]

1. 简要说明实验原理并绘出光路图.

- 列表记录直接测得的实验数据及处理数据.
- 求出透明固体材料的折射率.

必答题

七、给你一架天平和一只秒表,你如何用实验来估测用手急速竖直上抛出小球时,手对小球所做的功?

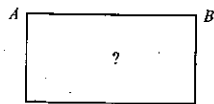
[要求] 写出需要准确测量的物理量,如何测量,并列出具算时所需的关系式.

八、如图所示,水平放置的弹簧一端固定,另一端紧靠质量为 m 的木块,并用手水平向左压住木块.由于弹簧的劲度系数很大,故弹簧压缩量很小,试用一块秒表和一把刻度尺,测量出弹簧被压缩时的弹性势能.



[要求] 设计一套实验方案,阐明实验思路,写出需要直接测量的物理量以及涉及到的关系式,画出实验原理图.

九、在一硬纸圆筒中,有一凸透镜,圆筒两端用薄平板玻璃封着,如图所示.现在仅知道凸透镜的主轴与圆筒的轴线重合,凸透镜的焦距大于圆筒长度,试用一把米尺、一张白纸和太阳光,测出凸透镜的焦距.



[要求] 注明需要测量的物理量,简要的步骤,计算焦距的表达式以及必要的光路图.

十、一位同学想测定当地的重力加速度,而手中只有秒表、细线、刻度尺和形状不规则的小石块,试设计一种实验方案,测定当地的重力加速度.

[要求] 阐述方案思路,注明需要直接测量的物理量,列出重力加速度的表达式.

决赛试题及参考解答

· 理论试题 ·

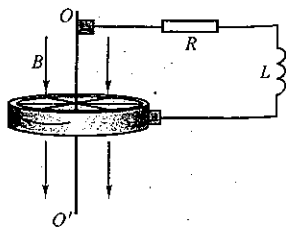
一、5个质量相等的匀质球,其中4个半径均为 a 的球,静止放在半径为 R 的半球形碗内,它们的球心在同一水平面内.另1个半径为 b 的球放在4球之上.设接触面都是光滑的,试求碗的半径 R 的值满足什么条件时下面的球将相互分离.

二、一人造地球卫星绕地球做椭圆运动,地心是椭圆的一个焦点,在直角坐标系中,椭圆的轨迹方程为

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

a 、 b 分别是椭圆的长半轴和短半轴,为已知常数.当该人造卫星在轨道的远地点时,突然以很大的能量沿卫星运行方向从卫星上发射出一个质量为 m 的太空探测器,这探测器在地球引力作用下做双曲线运动,此双曲线的焦点位于地心,实半轴的长度正好等于原来椭圆远地点到地心的距离.试问在发射时,给探测器的能量为多大?设地球的质量 m_E 、万有引力常量 G 为已知,不计地球以外星体的影响.

三、如图决 20-3 所示,金属飞轮具有 n 条辐条,每条辐条长 l ,可绕转轴 OO' 旋转.飞轮处在匀强磁场中,磁场方向与转轴平行,磁感强度为 B .转轴与飞轮边缘通过电刷与电阻 R 、电感 L 连成闭合回路.飞轮及转轴的电阻和转动过程的摩擦均不计.



图决 20-3

1. 现用一恒定的外力矩 M 作用于飞轮,使它由静止开始转动,求当飞轮转动达到稳定时,转动角速度 Ω_0 和通过电阻 R 的电流 I_0 .

2. 在飞轮转速达到稳定后,突然撤去外力矩 M ,则飞轮的角速度 Ω 和通过电阻 R 的电流 I 都将随时间变化.当 R 取不同值时,角速度随时间变化的图线 $\Omega(t)$ 和电流随时间变化的图线 $I(t)$ 将不同.

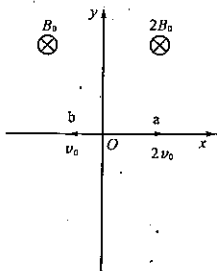
现给出了 $\Omega(t)$ 图线各 6 条(附本题后),各图中都把刚撤去外力矩 M 的时刻作为起始时刻,即 $t = 0$ 的时刻,此时刻的角速度 $\Omega = \Omega_0$,电流 $I = I_0$.角速度 Ω 各图的纵坐标单位相同,电流 I 各图的纵坐标单位相同,各图的时间轴横坐标的单位均相同.试从这些图线中选出可能正确表示飞轮的角速度 Ω 随时间变化的图线 $\Omega(t)$,以及与所选图线对应的最接近正确的电流 I 随时间变化的图线 $I(t)$.把你选出的图线 $\Omega(t)$ 与对应的 $I(t)$ 图线在下面的图线符号之间用直的实线连接起来.

注意:只有全部连接正确的才能得满分,连对但不全的得部分分,有连错的得零分.

$\Omega-1$	$I-A$
$\Omega-2$	$I-B$
$\Omega-3$	$I-C$
$\Omega-4$	$I-D$
$\Omega-5$	$I-E$
$\Omega-6$	$I-F$

四、如图决 20-4 所示, y 轴右边存在磁感强度为 $2B_0$ 的匀强磁场, y 轴左边存在磁感强度为 B_0 的匀强磁场,它们的方向皆垂直于纸面向里.在原点 O 处,一个带正电的电荷量为 q 、质量为

m 的粒子 a , 在 $t = 0$ 时以大小为 $2v_0$ 的初速度沿 x 轴方向运动. 在粒子 a 开始运动后, 另一质量和电荷量都与 a 相同的粒子 b 从原点 O 以大小为 v_0 的初速度沿负 x 轴方向开始运动. 要想使 a 和 b 能在运动过程中相遇, 试分析和计算它们出发的时间差的最小值应为多大, 并求出与此对应的相遇地点的坐标. 设整个磁场区域都处于真空中, 且不考虑重力及 a 、 b 两粒子之间相互作用力.



图决 20-4

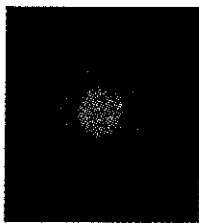
五、一位近视眼朋友不戴眼镜时, 能看清的物体都在距眼睛 $a = 20 \text{ cm}$ 以内. 他发现, 如果在眼前靠近眼睛处放一个有小圆孔的卡片, 通过小圆孔不戴眼镜看远处的物体时也能看得清晰些.

1. 若小圆孔直径为 D , 试根据几何光学原理求出当近视眼直视远处的一个点物时, 眼的视网膜上产生的光斑的直径.

2. 再考虑小圆孔的衍射效应, 求小圆孔直径最恰当的大小. 计算时可取可见光的平均波长为 600 nm .

【提示】

1. 人眼是一个结构比较复杂的光学系统, 在本题中, 可将人眼简化成一个焦距 f 可调的薄透镜和一个可成像的视网膜, 透镜的边缘为瞳孔, 两侧介质均为空气, 视网膜与透镜的距离为 b .



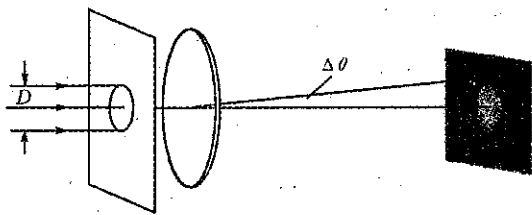
图决 20-5-1

2. 小圆孔的存在对透镜成像的影响介绍如下: 在几何光学中, 从远处物点射向透镜的、平行于光轴的平行光束将会聚于透镜的焦点上, 这就是像. 如果在透镜前放

一直径为 D 的小圆孔, 则将发生光的衍射, 在焦点处像屏上将出现如图决 20-5-1 所示的衍射图样, 其中央是一个明亮的圆斑, 圆斑外周是一组亮度逐渐减弱的亮暗相间的同心圆环, 由于这些圆环亮度比中央圆斑弱得多, 观察时可以不予考虑. 中央圆斑的半径对薄透镜中心的张角 $\Delta\theta$ 的大小与 D 有关. 理论计算得到

$$\Delta\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

式中 λ 是所用光的波长, 这圆斑就是有小圆孔时观察到的物点的“像”, 如图决 20-5-2 所示. 由上式可见, D 越大, 像斑就越小, 点物的像就越接近一个点, 物体的像越清晰; 反之, D 越小, 点物的衍射像斑就越大, 物体的像就越不清晰. 如果观察屏不在焦点处而在焦点附近, 屏上将出现类似的衍射图样, 其中央亮斑对透镜中心的张角 $\Delta\theta$ 可近似地用上式计算.



图决 20-5-2

六、设地球是一个半径为 6 370 km 的球体. 在赤道上空离地面 1 千多公里处和赤道共面的圆与赤道形成的环形区域内, 地磁场可看作是均匀的, 其磁感强度为 $B = 3.20 \times 10^{-6}$ T. 某种带电宇宙射线粒子, 其静质量为 $m_0 = 6.68 \times 10^{-27}$ kg, 其电荷量为 $q = 3.20 \times 10^{-19}$ C, 在地球赤道上空的均匀地磁场中围绕地心故半径为 $R = 7$ 370 km 的圆周运动.

已知在相对论中只要作用于粒子的力 F 的方向始终与粒

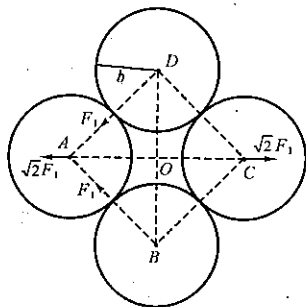
子运动的速度 v 的方向垂直, 则运动粒子的质量 m 和加速度 a 与力 F 的关系仍为 $F = ma$, 但式中的质量 m 为粒子的相对论质量. 问:

1. 该粒子的动能为多大?
2. 该粒子在圆形轨道上运动时与一个不带电的静质量为 $m_2 = 4m_0$ 的静止粒子发生碰撞, 并被其吸收形成一个复合粒子, 试求复合粒子的静质量 m_1 .

· 参考解答 ·

一、

设半径为 b 的球放在 4 个球上后, 下面 4 个球的位置未变. 以 m 表示每个球的质量, 下面 4 个球的球心形成一个位于水平面内的正方形 $ABCD$, 俯视图如图决解 20-1-1 所示. O 为正方形对角线的交点, 各球之间的相互作用力大小均为 F_1 . 根据



图决解 20-1-1

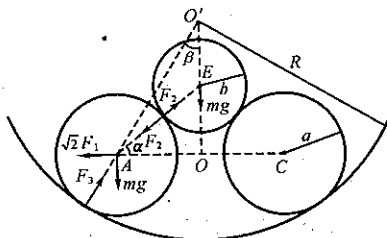
对称性, 并注意到接触面都是光滑的, 可知每个球受到相邻两球作用力的合力都为 $\sqrt{2}F_1$, 方向沿对角线.

由几何对称性分析, 可知对角线 AC 、上面球的球心 E 和碗的球心 O' 应在同一竖直平面内, 如图决解 20-1-2 所示. 设上面球与下面每个球的相互作用力的大小均为 F_2 , 对 A 球, F_2 的方向沿球心 A, E 连线. 平衡时对半径为 b 的球有

$$mg = 4F_2 \sin \alpha \quad (1)$$

式中 α 是球心连线 AE 与水平线 AC 之间的夹角, 有

$$\cos\alpha = \frac{AO}{AE} = \frac{\sqrt{2}a}{a+b} \quad (2)$$



图决 20-1-2

对于下面每个球,如球 A,受到的作用力有重力 mg , B、D 两球对它的作用的合力 $\sqrt{2}F_1$, 上面球的作用力 F_2 和碗面的作用力 F_3 . 由于体系对称且接触面光滑, 各力均通过球心 A, F_3 还通过 O' , 平衡时有

$$\sqrt{2}F_1 + F_2\cos\alpha - F_3\sin\beta = 0 \quad (3)$$

$$F_3\cos\beta - mg - F_2\sin\alpha = 0 \quad (4)$$

式中 β 是 F_3 方向与竖直线的夹角, 有

$$\sin\beta = \frac{AO}{AO'} = \frac{\sqrt{2}a}{R-a} \quad (5)$$

由式(1)可得

$$F_2 = \frac{mg}{4\sin\alpha} \quad (6)$$

由式(4)和(6)可得

$$F_3 = \frac{5mg}{4\cos\beta} \quad (7)$$

由式(3)、(6)和(7)可得

$$F_1 = \frac{mg}{4\sqrt{2}}(5\tan\beta - \cot\alpha) \quad (8)$$

如果 $F_1 \geq 0$, 表示下面的 4 个球相互接触, 4 个球在原来的位置;

如果 $F_1 < 0$, 则下面的 4 个球将相互分离. 当下面的 4 个球分离时, 由式(8) 得

$$5 \tan \beta - \cot \alpha < 0 \quad (9)$$

利用式(2) 和(5), 式(9) 化为

$$\frac{5\sqrt{2}a}{\sqrt{R^2 - 2Ra - a^2}} < \frac{\sqrt{2}a}{\sqrt{b^2 + 2ab - a^2}} \quad (10)$$

解此不等式, 可得

$$R > \sqrt{25b^2 + 50ab - 23a^2} + a \quad (11)$$

即碗的半径 R 满足上式时, 下面的球将分离.

要式(11) 有解, 应有

$$25b^2 + 50ab - 23a^2 \geq 0 \quad (12)$$

即
$$b \geq \left(\frac{4}{5}\sqrt{3} - 1\right)a \quad (13)$$

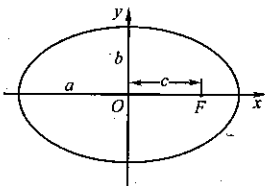
由于下面各球距 O 的最小距离为 $(\sqrt{2} - 1)a$, 现上面的球能放在 4 个球的上面, 表明

$$b > (\sqrt{2} - 1)a \quad (14)$$

而 $\sqrt{2} > 4\sqrt{3}/5$, 所以只要第 5 个球能够放在 4 个球的上面, 式(12) 一定成立.

二、

探测器在发射前, 是人造地球卫星的一部分, 它与人造地球卫星一起沿同一椭圆轨道运动, 椭圆的长半轴为 a , 短半轴为 b , 椭圆的中心 O 到焦点 F 的距离为 c , 如图决解 20-2-1 所示. 由解析几何知



图决解 20-2-1

$$c^2 = a^2 - b^2 \quad (1)$$

探测器发射前的能量就是它做椭圆运动的能量. 设在远地

点,探测器的速度为 v_1 ,则发射前探测器的能量为

$$E_1 = \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{G m_E m}{a + c} \quad (2)$$

由于作用于探测器的万有引力作用线始终通过地心,引力对地心的力矩为零,做椭圆运动的探测器角动量守恒.若探测器在近地点的速度为 v_2 ,则由角动量守恒,有

$$m v_1 (a + c) = m v_2 (a - c) \quad (3)$$

万有引力是保守力,探测器沿椭圆运动过程中机械能守恒.对于远地点与近地点,有

$$\frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{G m_E m}{a + c} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{G m_E m}{a - c} \quad (4)$$

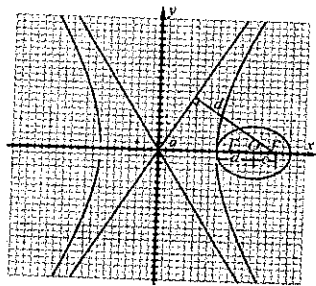
解式(3)和(4)得

$$v_1^2 = \frac{G m_E}{a} \frac{a - c}{a + c} \quad (5)$$

把式(5)代入式(2),得

$$E_1 = \frac{G m_E m}{2a} \quad (6)$$

探测器射出后,沿双曲线运动,该双曲线的顶点与原来的卫星的椭圆轨道的顶点重合,如图决解 20-2-2 所示.探测器做双曲线运动的过程中,角动量守恒,机械能亦守恒.设 v_0 为探测器刚弹出时的速度,也就是在双曲线顶点处的速



图决解 20-2-2

变,该点到地心的距离为 $a + c$.探测器的角动量为 $m v_0 (a + c)$,当探测器到达无限远处时,其速度的方向沿双曲线的渐近线,以 v 表示其速度的大小, d 表示地心到渐近线的距离,其角动量为

mv_0 . 根据角动量守恒, 有

$$mv_0(a+c) = mvd \quad (7)$$

探测器在双曲线的顶点的机械能应等于它到达无限远处的机械能, 故有

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{Gm_E m}{a+c} = \frac{1}{2}mv^2 \quad (8)$$

由图决解 20-2-2 可知

$$d = 2(a+c)\sin\alpha \quad (9)$$

若 A 、 B 分别表示双曲线的实半轴和虚半轴, C 表示双曲线中心到地心的距离, 因地心是双曲线的焦点, 根据题给的条件和解析几何, 有

$$A = a + c \quad (10)$$

$$C = 2(a + c) \quad (11)$$

$$B^2 = C^2 - A^2 \quad (12)$$

而

$$\sin\alpha = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (13)$$

由以上各式, 可得

$$\sin\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad (14)$$

解式(7)、(8)、(9) 和(14), 得

$$v^2 = \frac{Gm_E}{a+c} \quad (15)$$

探测器被射出后, 其能量就是做双曲线运动时的能量, 故射出后探测器的能量为

$$E_2 = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{Gm_E m}{2(a+c)} \quad (16)$$

发射探测器时给探测器的能量为

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (17)$$

由式(1)、(6)和(16),得

$$\Delta E = \frac{Gm_E m}{2a} \frac{2a + \sqrt{a^2 - b^2}}{a + \sqrt{a^2 - b^2}} \quad (18)$$

三、

当飞轮的角速度为 Ω 时,每一辐条中的感应电动势为

$$E = \frac{1}{2} l^2 B \Omega \quad (1)$$

当有电流 I 通过电阻 R 时,每条辐条中的电流

$$I' = \frac{1}{n} I \quad (2)$$

受到的安培力

$$F' = B l I' \quad (3)$$

安培力对转轴的磁力矩

$$M_{B'} = \frac{1}{2} l F' \quad (4)$$

作用于整个飞轮的总磁力矩

$$M_B = n M_{B'} \quad (5)$$

当

$$M = M_B \quad (6)$$

时,飞轮做匀速转动,即转动达到稳定,这时 $\Omega = \Omega_0, I = I_0$. 由以上各式得

$$M = \frac{1}{2} B l^2 I_0 \quad (7)$$

$$E = \frac{1}{2} B l^2 \Omega_0 \quad (8)$$

由欧姆定律有

$$E = I_0 R \quad (9)$$

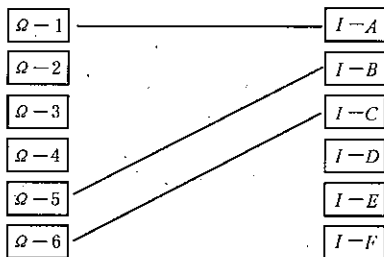
解式(7)、(8)和(9)得

$$I_0 = \frac{2M}{l^2 B} \quad (10)$$

$$\Omega_0 = \frac{4MR}{l^4 B^2} \quad (11)$$

可见电阻 R 越大, 达到稳定时, 飞轮的角速度 Ω_0 越大, 而达到稳定时电流 I_0 与 R 无关.

2.



四、

带电荷量为 q 、质量为 m 、初速为 v 的粒子, 当它在磁感强度为 B 的匀强磁场中运动时, 如果其初速度的方向与磁场方向垂直, 由洛伦兹力和牛顿定律可知, 它将在磁场中做匀速圆周运动. 令 T 和 R 分别表示其周期和轨道半径, 则有

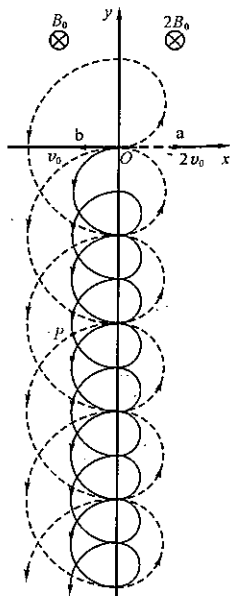
$$qvB = m \frac{v^2}{R} = mR \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (1)$$

由此求得

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (2)$$

$$R = \frac{mv}{qB} \quad (3)$$

把这些结论用到本题中, 可知 a 粒子开始在第一象限中运动 (y 轴以右)



图决解 20-4-1

$$T_{ar} = \frac{2\pi m}{q(2B_0)} = \frac{\pi m}{qB_0} \quad (4)$$

$$R_{ar} = \frac{m(2v_0)}{q(2B_0)} = \frac{mv_0}{qB_0} \quad (5)$$

经半个周期(即 $\frac{1}{2}T_{ar}$)后,进入第二三象限中(y 轴以左),周期和轨道半径变为

$$T_{al} = \frac{2\pi m}{qB_0} \quad (6)$$

$$R_{al} = \frac{2mv_0}{qB_0} \quad (7)$$

以后就按此模式在 xy 平面内沿图决解 20-4-1 中的虚线运动.

同理,粒子 b 开始在第三象限(y 轴以左)中运动

$$T_{bl} = \frac{2\pi m}{qB_0} \quad (8)$$

$$R_{bl} = \frac{mv_0}{qB_0} \quad (9)$$

经半个周期(即 $\frac{1}{2}T_{bl}$)后,进入第四象限(y 轴以右)运动,周期和轨道半径变为

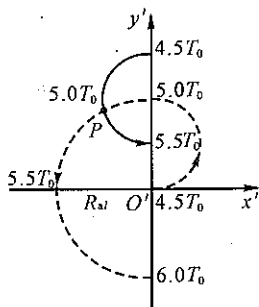
$$T_{br} = \frac{\pi m}{qB_0} \quad (10)$$

$$R_{br} = \frac{mv_0}{2qB_0} \quad (11)$$

以后就按此模式在 xy 平面内沿图决解 20-4-1 的中实线运动. 由以上分析可知,只要在右边,不管 a 还是 b,周期皆为 $T_0 = \pi m/qB_0$;只要在左边,周期皆为 $2T_0$.

由图决解 20-4-1 可见,只有在两轨迹交叉或相切的那些点,才有相遇的可能性. 为求得题中所说的时间差的最小值,下面我们先假设,如果 a、b 同时开始运动,分析经过哪个交叉或相

切点时两者的时间差最短,则这个时间差就应当等于题中说的要 a、b 在此交叉或相切点能相遇,两者出发时间的的时间差.为此,结合图决解 20-4-1 分别考查 a、b 的运动,经过分析就可看出,在 $5T_0$ 到 $5.25T_0$ 之间的那个交叉点(图决解 20-4-1 中的 P 点)处, a、b 通过它的时间差最短(在 $5T_0$ 以前和 $5.25T_0$ 以后的那些交叉或相切点, a、b 通过时的时间差都较长).



图决解 20-4-2

为了定量地求出此时间差,取负 y 轴上距原点 O 为 $3R_{al}$ (即 $6R_{bl}$) 处为新的原点 O' ,如图决解 20-4-2 所示.取时间 $t = 5T_0$ 为新的起始计时时刻,对 a 用 $t' = 0$ 表示,对 b 用 $t'' = 0$ 表示.在 y 轴以左 a、b 的周期相同,所以角速度亦相同,以 ω_1 表示 a、b 在 y 轴以左的角速度

$$\omega_1 = \frac{\pi}{T_0} \quad (12)$$

对 a

$$x'_a = R_{al} \cos\left(\omega_1 t' + \frac{\pi}{2}\right) \quad (13)$$

$$y'_a = R_{al} \sin\left(\omega_1 t' + \frac{\pi}{2}\right) \quad (14)$$

对 b

$$x'_b = \frac{R_{al}}{2} \cos(\omega_1 t'' + \pi) \quad (15)$$

$$y'_b = R_{al} + \frac{R_{al}}{2} \sin(\omega_1 t'' + \pi) \quad (16)$$

对 P 点应有

$$x'_a = x'_b \quad y'_a = y'_b \quad (17)$$

由以上各式可解得所求的时间差应为

$$\Delta t = t' - t'' = 0.080 \cdot 2 \frac{\pi m}{qB_0} \quad (18)$$

这个结果说明,如果 a、b 同时出发,则 a 比 b 晚 $0.080 \cdot 2 \pi m / qB_0$ 时间通过 P 点. 换成题目的要求,就应当说,要 a、b 相遇,则 b 的出发时间应比 a 晚 $0.080 \cdot 2 \pi m / qB_0$.

由以上各式还可求得 O 点的坐标

$$x_{P'} = -\frac{\sqrt{15}}{8} R_{al} = -0.484 R_{al} = -0.968 \frac{mv_0}{qB_0} \quad (19)$$

$$y_{P'} = -\frac{7}{8} R_{al} = 0.875 R_{al} = 1.75 \frac{mv_0}{qB_0} \quad (20)$$

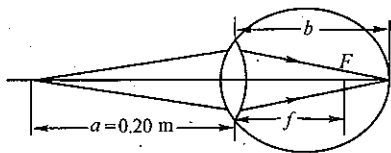
换为 Oxy 坐标系

$$x_P = -0.968 \frac{mv_0}{qB_0} \quad (21)$$

$$y_P = -3R_{al} + \frac{7}{8} R_{al} = -2.125 R_{al} = -4.25 \frac{mv_0}{qB_0} \quad (22)$$

五、

1. 图决解 20-5-1 是近视眼观察能看清的最远的物时的成像光路图. 对近视眼, 通过眼睛调节, 能看清的物到眼睛的最大距离为 a , 位于光轴上的物点, 将成像在



图决解 20-5-1

视网膜上; 离眼睛无限远, 位于光轴上的物点, 只能成像在焦点 F , 在视网膜上是一个光斑, 这光斑就是物点在视网膜上的模糊的“像”. 如果在眼前靠近眼睛处放一个有小圆孔的卡片, 小孔使视网膜上的光斑变小, 如图决解 20-5-2 所示. 光斑越小, 即模糊像点越小, 眼睛感觉到的像越清晰. 因此, 在靠近眼睛处放一

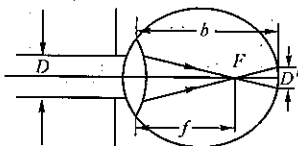
个小于瞳孔的小圆孔会使模糊像斑比由瞳孔决定的模糊像斑小,能看得清晰些。

下面计算视网膜上光斑的直径。由图决解 20-5-1,根据透镜公式

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

可求得此时的焦距为

$$f = \frac{ab}{a+b} \quad (2)$$



图决解 20-5-2

当眼睛处于图决解 20-5-

2 状态观察远物时,从光轴上一物点射来的平行光,经过直径为 D 的小孔后将会聚于焦点 F ,在网膜上出现直径为 D' 的光斑,如图决解 20-5-2 所示。

由几何关系和式(2),可得光斑的直径 D'

$$D' = \frac{b-f}{f} D = \frac{b}{a} D \quad (3)$$

由式(3)可知,从几何光学的角度考虑, D 越小, D' 越小。

2. 现在考虑衍射问题。入射的平行光束经小孔后在透镜后的网膜上产生衍射光斑,设其直径为 D'' ,则根据题给公式的近似,可得

$$D'' = 2b\Delta\theta = 2.44 \frac{\lambda b}{D} \quad (4)$$

由式(4)可知, D 越小, D'' 越大。将使“像点”变得更为模糊。所以不能用太小的圆孔。最恰当的圆孔直径 D 的大小应使视网膜上几何光学模糊光斑和衍射光斑一样大,即

$$D' = D'' \quad (5)$$

此时“像”最为清晰。设此时小孔的直径为 D_0 ,则有

$$\frac{b}{a} D_0 = 2.44 \frac{\lambda b}{D_0} \quad (6)$$

$$D_0 = \sqrt{2.44\lambda a} \quad (7)$$

以 $\lambda = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$ 、 $a = 0.20 \text{ m}$ 代入得

$$D_0 = 0.54 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (8)$$

六、

1. 设带电宇宙射线粒子速度为 v ，在地磁场的洛伦兹力作用下做圆周运动，其运动方程为

$$qvB = m \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

式中 m 为运动粒子的相对论质量，与静止质量的关系为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (2)$$

该粒子的动能

$$E_k = mc^2 - m_0c^2 \quad (3)$$

由式(1)可求得

$$v = \frac{qBRc}{\sqrt{q^2B^2R^2 + m_0^2c^2}} \quad (4)$$

代入数据得

$$v = 2.90 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (5)$$

由式(2)、(3)得

$$E_k = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right) \quad (6)$$

代入数据，注意到式(5)，得

$$E_k = 1.74 \times 10^{-9} \text{ J} \quad (7)$$

2. 用 p 、 E 分别表示宇宙射线粒子的动量和能量，有

$$p = \frac{m_0v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (8)$$

$$E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (9)$$

设复合粒子的速度为 v_1 , 动量和能量分别为 p_1 和 E_1 , 有

$$p_1 = \frac{m_1 v_1}{\sqrt{1 - v_1^2/c^2}} \quad (10)$$

$$E_1 = \frac{m_1 c^2}{\sqrt{1 - v_1^2/c^2}} \quad (11)$$

粒子复合过程中动量、能量守恒, 有

$$p_1 = p \quad (12)$$

$$E_1 = E + m_2 c^2 \quad (13)$$

由以上各式及已知条件 $m_2 = 4m_0$, 得

$$v_1 = \frac{v}{1 + 4\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (14)$$

把式(5)代入式(14), 得

$$v_1 = 1.43 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (15)$$

由式(9)、(11)和(13)得

$$m_1 = \frac{m_0 \sqrt{1 - v_1^2/c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + m_2 \sqrt{1 - v_1^2/c^2} \quad (16)$$

由式(5)、(15)和有关数据得

$$m_1 = 46.4 \times 10^{-27} \text{ kg} \quad (17)$$

· 实验试题 ·

题一 电阻的组合测量

有5个电阻元件已分别装入5个小盒接在接线柱上(不得打开小盒),它们的编号分别为 $R_1 \sim R_5$,其中3个电阻值较小,它们的电阻值基本相等(电阻值相差不大于1%),另2个电阻值也基本相等(其电阻值相差不大于1%),但它们的电阻值比前3个至少大40%.

请设计一种测试次数不超过3次,就一定能找出这2个阻值较大的电阻的实验方案.然后准确测量其中1个的电阻值.

[仪器和用具] 直流电源2组 E_1 和 E_2 ($E_1 > E_2$,其内阻可忽略),AC5型直流指针式检流计1只(其使用方法见附录),检流计限流电阻1只(R_0),六钮电阻箱1只(R),导线若干,单刀双掷开关1只.

[要求]

1. 在试卷上写出你所设计的实验方案,该方案用不超过3次测试就一定能找出2个阻值较大的电阻.画出测量电路图、标上符号,写出实验步骤及判断方法.

2. 用实验找出这2个电阻值较大的电阻,写出它们的编号.

3. 在上面找出的2个阻值较大的电阻中任取1个,准确测定其电阻值(令为 R_M).不得使用其余4个待测电阻.

在试卷上画出测量电路图,写出实验步骤,导出计算公式,记录测量数据并求出结果.(结果要能用4位有效数字表示).

[注意] 成绩评定以卷面为主要依据.

附录 AC5型直流指针式检流计使用说明

1. 使用时要水平放置.

2. 将小旋钮拨向白色圆点位置,用零点调节器将指针调至零位.

3. 按下“电计”按钮,检流计即被接入电路.开始调节时应在接入限流电阻的情况下,用跃按法(短暂接通)反复按下“电计”按钮,调节至检流计基本指零,然后拆除限流电阻,再细调至检流计指零.

4. 如需将检流计长期接入电路时,可将“电计”按钮按下并转一角度锁住即可.

5. 若使用时指针摆动不停,按一下“短路”按钮指针便立即停止.

6. 电流如果从“+”接线柱流入检流计,指针偏向表盘的“+”方向,

电流如果从“-”接线柱流入检流计,指针偏向表盘的“-”方向.

7. 检流计使用完毕后必须将小旋钮拨至红色圆点位置,同时把“电计”、“短路”旋钮放松.

8. 检流计不得用作电流表读数.

注意安全使用检流计!!!

题二 薄透镜焦距测量及选定透镜装成望远镜

[仪器和用具] 照明光源, 镜片筒 6 个(每个镜片筒内有 1 个透镜), 平面反射镜, 镜片筒架, 物屏, 像屏, 米尺(量程 1. m), 长度不同的连接筒若干, 待观测文字、图案(在墙上画框中下部)等.

镜片筒 A、B、C 中分别有透镜 A(焦距为 225 mm), 透镜 B(焦距为 - 60.0 mm), 透镜 C(焦距为 60.0 mm), 镜片筒 D、E、F 中分别有透镜 D、E、F, 焦距均未知. 镜片筒中透镜的位置未标出. 连接筒 H、I、J 外径与镜片筒内径一致, 可将镜片筒连接起来组成手持光学系统.

[要求]

1. 用所给仪器和用具, 尽量准确地测量透镜D、E、F的焦距. 画出测量光路图, 记录全部数据, 求出结果.

2. 根据1的实验结果选择合适的镜片和连接筒, 装成2个放大倍数最大、能观察极远处物体的望远镜[目镜分别用凸透镜(开普勒望远镜)和凹透镜(伽利略望远镜)各1]. 画出2种望远镜的光路图, 并计算所组成望远镜的放大倍数, 写明选择镜片筒的理由.

3. 利用连接筒装成望远镜, 观察4 m左右远处悬挂画框中下部的文字和图案, 用凸-凸(开普勒)望远镜观察文字, 用凸-凹(伽利略)望远镜观察图案. 记录观察结果(写出观察到的文字, 尽量准确地绘出观察到的图案).

[注意] 成绩评定以卷面为主要依据.

· 参考答案 ·

题一 电阻的组合测量

[要求1] 实验方案的设计:

分析与设计思想

任选4个电阻组成电桥, 如图1.1, A、B、C、D表示电桥上各电阻的位置. 本实验中所采取的测试就是利用检流计和限流电阻检查桥路是否平衡. 若不平衡还可在本实验所使用的检流计上查出检流计中电流的方向(见使用说明第6条).

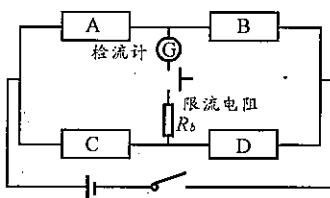


图 1.1

现在对桥路上各种可能的电阻分布情况作如下的分析.

若电桥基本平衡, 桥路上的4个电阻一定为2大2小, 桥外

余下的是小电阻. 桥上电阻的分布如图 1.2 中的 4 种情况所示:

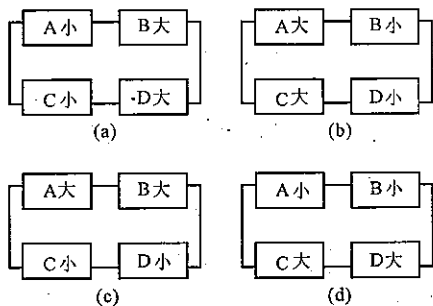


图 1.2

若电桥不平衡, 桥路上的 4 个电阻可能为 3 小 1 大; 也可能为 2 大 2 小, 其分布如图 1.3 中的 6 种情况所示; 桥外余下的电阻在图 1.3(c) 和 (f) 情况为小电阻, 在其它情况为大电阻. 分析这种桥路中在不接通检流计时, 检流计支路两端的电势差, 可得知当“跃按”检流计按钮时, 检流计中电流的方向. 当电源正极接在电桥左边(图 1.1) 时, 图 1.3(a)、(b)、(c) 为检流计中电流方向向下的 3 种情况, 图 1.3(d)、(e)、(f) 为检流计中电流方向向上的 3 种情况.

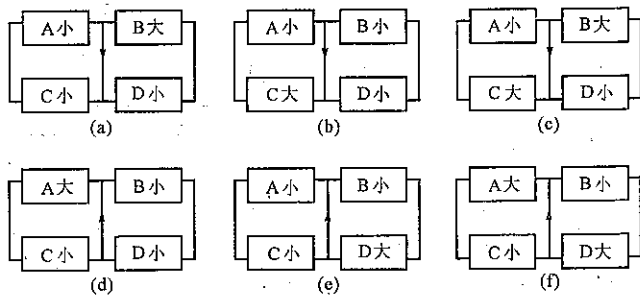


图 1.3

有了以上的分析的结果就可进行测试,每次测试后都可根据测试结果判断桥路中可能的电阻分布情况,并通过改变桥路中电阻的分布再作测试,在不超过3次测试的条件下找出2个大电阻。

改变桥路中电阻分析的操作也可有2种:一种是交换电阻位置,另一种是用电桥外余下的电阻置换桥上的电阻.这种操作都有多种可能选择,因此,此题的解答不是唯一的.下面采用交换A与B位置的电阻后进行第二次测试,再用桥外余下的电阻置换C位置电阻后进行第三次测试的方法,举出一种一定能找出2个大电阻的实验方案。

实验方案与判断

(一) 任选4个电阻按图1.1接通电桥,进行第一次测试。

(二) 如果第一次测试电桥基本平衡,可知桥路上电阻分布可能为图1.2中的4种情况.将A、B位置的电阻相交换,进行第二次测试。

(1) 如果第二次测试仍基本平衡,可知交换前与交换后桥上可能为图1.2中的(c)或(d).现在再用桥外余下的小电阻置换C位置的电阻进行第三次测试。

① 如果第三次测试还基本平衡,则可断定置换前与后桥上为图1.2(c),A、B位置上为2个大电阻。

② 如果第三次测试不平衡,则可断定置换前桥上为图1.2(d),置换下的电阻与D位置上的电阻为2个大电阻。

(2) 如果第二次测试不平衡,可知交换前桥上可能为图1.2中的(a)或(b),交换后分别成为图1.3中的(f)或(c).检流计中电流向下时可断定为图1.3(c),B、C位置上为2个大电阻,电流向上时可断定为图1.3(f),A、D位置上为2个大电阻,不需进行

第三次测试.

(三) 如果第一次测试不平衡, 可知桥上可能为图 1.3 中的 6 种情况, 检流计中电流向下时可能为图 1.3(a)、(b)、(c), 电流向上时可能为图 1.3(d)、(e)、(f), 现在将 A、B 位置的电阻相交换, 进行第二次测试.

(1) 如果第二次测试基本平衡, 即可断定第一次测试时若检流计中电流向下, 则桥上为图 1.3(c), 交换后成为图 1.2(b), 这时 A、C 位置上为 2 个大电阻; 若电流向上则桥上为图 1.3(f), 交换后成为图 1.2(a), 这时 B、D 位置上为 2 个大电阻. 不需进行第三次测试.

(2) 如果第二次测试仍不平衡, 可知交换前桥上可能为图 1.3(a)、(b)、(d)、(e) 4 种情况. 桥外余下的就是一个要找的大电阻. 桥上电阻交换后分别成为图 1.3(d)、(b)、(a)、(e). 这时若第一次测试时检流计中电流向下而第二次测试时电流反向, 则可断定交换后桥上为 1.3(d), A 位置上为另一个大电阻; 若第一次测试时检流计中电流向下, 第二次测试时电流仍向下, 则可断定交换后桥上仍为 1.3(b). C 位置上为第二个大电阻; 依次, 对第一次测试时检流计中电流向上的情况也可在交换后桥上的 B、D 位置上找到另一个大电阻. 不需进行第三次测试.

(四) 以上举出了一种满足试题要求的实验方案, 只有在前两次测试都基本平衡时才需要用第三次测试, 其他情形只要有两次测试就可找到 2 个大电阻. 这是因为对于不平衡的桥路还利用了检流计中电流方向的指示作为判断的依据. 如果不考虑电流方向的指示只观察电流的变化, 也可在不超过三次测试的条件下设计出满足试题要求的实验方案, 这里不详述了.

[要求 2] 实验记录

1. 选用编号为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_5 的 4 个电阻按图 1.4 接通桥路, 进行第一次测试, 基本平衡.

2. 令 R_1 、 R_3 交换位置进行第二次测试, 仍基本平衡. 可知桥上为图 1.2(c) 或(d).

3. 用桥外小电阻置换 R_2 , 进行第三次测试, 不平衡, 可断定置换下的与桥上 D 位置的是 2 个大电阻.

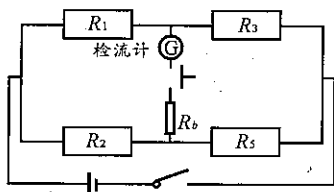


图 1.4

结果: 2 个大电阻的编号为 R_2 、 R_5 .

[要求 3] 测量 R_M

方法一 电压补偿法

1. 测量电路如图 1.5

2. 实验步骤及计算公式

第一次测量:

将 D 接 A , F 接 B , 调节电阻箱并反复按下按钮开关, 当检流计接近为零时, 去掉限流电阻, 继续调节电阻箱为 R 值时, 检流计指零, 则有

$$\frac{\mathcal{E}_1}{R + R_M} = \mathcal{E}_2 \quad (1)$$

第二次测量:

将 D 接 B , F 接 C , 调节电阻箱并反复按下按钮开关, 当检流计接近为零时, 去掉限流电阻, 继续调节电阻箱为 R' 值时, 检流计指零. 则有

$$\frac{\mathcal{E}_1}{R' + R_M} R_M = \mathcal{E}_2 \quad (2)$$

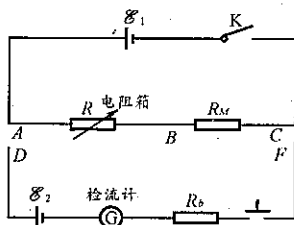


图 1.5

式(1)、(2) 联立,解得

$$R_M = \sqrt{RR'}$$

方法二 电流补偿法

1. 测量电路如图 1.6

2. 实验步骤及计算公式

第一次测量,如图

调电阻箱为 R 值时检流计指零,则有

$$\frac{\mathcal{E}_1}{R} = \frac{\mathcal{E}_2}{R_M} \quad (1)$$

第二次测量,将电阻箱与 R_M 交换位置,再调电阻箱为 R' 值时检流计指零,则有

$$\frac{\mathcal{E}_1}{R_M} = \frac{\mathcal{E}_2}{R'} \quad (2)$$

二式联立解得

$$R_M = \sqrt{RR'}$$

3. 测量数据及实验结果

数据表

(单位:Ω)

	R	R'	$R_M = \sqrt{RR'}$
1	1 460.5	1 531.6	1 495.6
2	1 461.5	1 531.6	1 496.1
3	1 460.9	1 531.4	1 495.7
$\bar{R}_M = 1 495.9 \Omega$		平均	1 495.9

题二 薄透镜焦距测量及选定透镜装成望远镜

0. 判定未知透镜是凸是凹

将物屏与像屏放置在实验台两端,使其间距最大.手持各镜

片筒从物屏起向像屏移动,观察像屏上的成像情况.

① 在此移动过程中能够清晰成像的可判断为凸透镜,根据成像时物与像间的距离可以大概判断透镜的焦距大小.本题中,透镜F在物像屏距离小于1 m时能够清晰成像,可判定为焦距较小的凸透镜.

② 若在移动过程中像屏上始终不能成清晰的像,但聚光范围逐渐变小,则为焦距较大的凸透镜.本题中透镜D可判定为焦距较大的凸透镜.

③ 若移动过程中,像屏上的模糊光影有变化,但一直不清晰,且在镜片靠近像屏时,像屏上出现均匀圆形光斑,则为凹透镜.本题中透镜E可判定为凹透镜.

1. 测量透镜焦距

① 凸透镜F的焦距 f_F 的测量.用图2.1所示的二次成像法测量 f_F .

根据0.①中估计的透镜焦距,确定物屏、像屏间的距离 b ($b > 4f_F$),一般不要太大,用米尺测出其值.在物屏和像屏间移动透镜,利用米尺测出两次

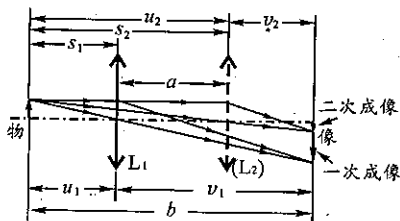


图 2.1

清楚成像时透镜距物屏的距离 s_1, s_2 .则两次成像时透镜间的距离 $a = s_2 - s_1$.根据光线的可逆原理,两次成像时透镜的位置是对称的,即

$$u_1 = v_2 \quad u_2 = v_1$$

由图知

$$b - a = u_1 + v_2 = 2u_1$$

所以

$$u_1 = \frac{b-a}{2}$$

而

$$v_1 = b - u_1 = b - \frac{b-a}{2} = \frac{b+a}{2}$$

则可得计算透镜 F 的焦距的公式

$$f_F = \frac{u_1 v_1}{u_1 + v_1} = \frac{\frac{b-a}{2} \cdot \frac{a+b}{2}}{b} = \frac{b^2 - a^2}{4b} \quad (1)$$

以上公式中 a 为两次成像间透镜移动的距离, 本法中这也就是镜片筒移动的距离, 取镜片筒上任一固定点 (设为筒的一个端面上的点), 记此点到物屏的距离为 s_1', s_2' , 则测出 b 与 s_1', s_2' (可得 $a = s_1' - s_2'$), 即可求得 f_F 。

透镜 F 测量数据与计算结果

(单位: cm)

		b	s_1'	s_2'	$a = s_2' - s_1'$	$f_F = \frac{b^2 - a^2}{4b}$
测量次数	1	24.30	10.70	19.35	8.65	5.31
	2	23.10	11.15	17.85	6.70	5.29
	3	25.00	10.35	20.30	9.95	5.26
平均值 $\bar{f}_F = 5.29$ cm					平均	5.29

② 透镜 D 的焦距 f_D 的测定。

用图 2.2 所示的自准直法测量。

将平面镜放置在距物屏距离大于待测透镜焦距的位置, 使镜面法线对准物屏。将待测透镜在物屏与平面镜之间移动, 使在物屏上成清晰的与物等大的倒像。

测量此时透镜到物屏之间的距离亦即此时的物距即为焦距 f_D 。

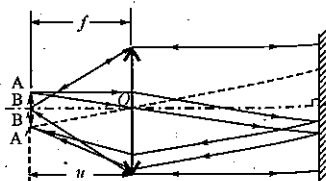


图 2.2

$$f_D = u \quad (2)$$

因透镜在镜片筒中的位置没有标出,无法直接测得透镜到物屏或像屏的距离,或说无法直接测得透镜到物屏或像屏的距离,或说无法测得物距或像距,这可采用颠倒镜片筒测两次数据的方法测出物距和像距.这一方法的原理如下.

设实验中成像最清晰的物屏与像屏的位置和镜片筒的位置如图 2.3(a) 所示.取镜片筒上任一固定点,如一个端面的 Q 点,为位置标示点,记下该点到物屏的距离为 s_1 ,到像屏的距离为 d_1 .现在把镜片筒两端颠倒,并使之在不动的物、像屏之间移动仍达到成像清晰的状态,如图 2.3(b).记下这时该点到物屏的距离为 s_2 ,到像屏的距离为 d_2 .设 Q 点到薄透镜中心的距离为 l ,则有

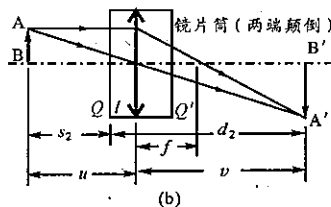
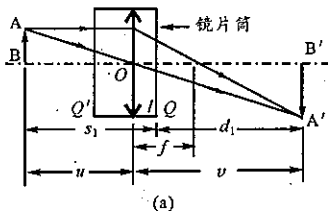


图 2.3

$$s_1 = u + l \quad s_2 = u - l$$

$$u = \frac{s_1 + s_2}{2}$$

同理

$$v = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

在用自准直法测 f_D 时,只需用上述方法测出图 2.2 中的物距 u 即可.

透镜 D 测量数据与计算结果 (单位:cm)

		s_1	s_2	$u = \frac{s_1 + s_2}{2}$	$f_D = u$
测量次数	1	32.60	27.30	29.95	29.95
	2	32.00	27.80	29.90	29.90
	3	32.80	27.20	30.00	30.00
平均值 $\bar{f}_D = 29.95 \text{ cm}$				平均	29.95

③ 透镜 E 的焦距 f_E 的测量. 利用凸透镜辅助的二次成像法 (图 2.4) 测 f_E .

取一焦距合适的凸透镜 L_1 (本实验中取透镜 F), 置于物屏与像屏之间, 前后移动凸透镜使在像屏上成清晰的像. 测出物屏与像屏间的距离为 p_1 . 不变 L_1 位置, 将像屏向远离物屏的方向移动

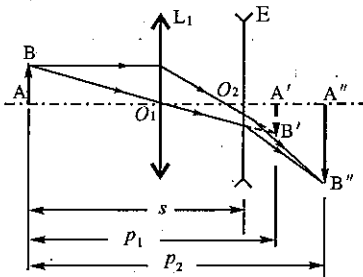


图 2.4

一定距离, 测量此时物屏与像屏间的距离为 p_2 . 将待测凹透镜置于 L_1 与像屏之间, 移动凹透镜 E 至像屏上出现清晰的像, 测量凹透镜 E 到物屏的距离 s , 则凹透镜成像的物距和像距分别为

$$u = -(p_1 - s) \quad v = p_2 - s$$

则透镜的焦距 f_E 为

$$f_E = \frac{uv}{u + v} = \frac{-(p_1 - s)(p_2 - s)}{p_2 - p_1} \quad (3)$$

由本实验计算公式可知除 p_1 、 p_2 外还需要测出透镜 E 到物屏的距离 s , 这也要用颠倒镜片筒法测两次镜片筒上固定标识

点到物屏的距离 s_1 、 s_2 并取 $s = \frac{s_1 + s_2}{2}$ 代入(3)式, 求出 f_E .

镜片 E 测量数据与计算结果 (单位:cm)

		p_1	p_2	s_1	s_2	s	$f_E = \frac{-(p_1 - s)(p_2 - s)}{p_2 - p_1}$
测量 次数	1	23.65	28.85	18.70	22.50	20.60	-4.84
	2	22.40	30.75	20.70	17.20	18.95	-4.88
	3	21.90	29.00	21.50	15.30	18.40	-5.23
平均值 $\bar{f}_E = -4.98$ cm						平均	-4.98

2. 组成望远镜

① 凸-凸望远镜

选择透镜 D 作物镜、透镜 F 作目镜,组成凸-凸望远镜(图

2.5). 望远镜的放大率为

$$\frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}} = \frac{f_D}{f_F} = \frac{29.95}{5.29} = 5.66 \approx 6$$

可达到要求。

连接筒的选择:为观察极远处物体,物镜、目镜间距离应为 $d = f_D + f_F \approx 35$ cm. 同时,本实验中还要用望远镜观察 $u \approx 4$ m 远处的图片,对于物镜成像,其像距

$$v = \frac{uf}{u - f} \approx 32.4 \text{ cm}$$

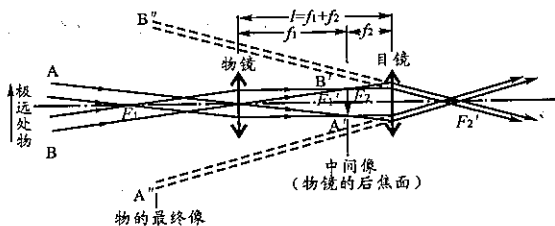


图 2.5

这时物镜与目镜间距离应为 $d = v + f_F \approx 37.5$ cm. 因此,要选

用长度合适的连接筒,使装上物镜目镜镜片筒后,两透镜间距离可在 35 ~ 37.5 cm 之间调节.

因此,要选择长度接近 35 cm 的连接筒 I 连接物镜 D 与目镜 F 组成凸-凸望远镜.

② 凸-凹望远镜

选择透镜 D 作物镜,透镜 E 作目镜,组成凸-凹望远镜(图 2.6). 望远镜的放大率为

$$\frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}} = \frac{f_D}{f_E} = \frac{29.95}{4.98} \approx 6$$

可达到要求.

连接筒的选择:对于凸-凹望远镜,物镜与目镜间距离应能在 $f_D - f_E \approx 25$ cm(物在极远处) 和 $v - f_E \approx 27.5$ m(物在 4 m 处) 之间调节.

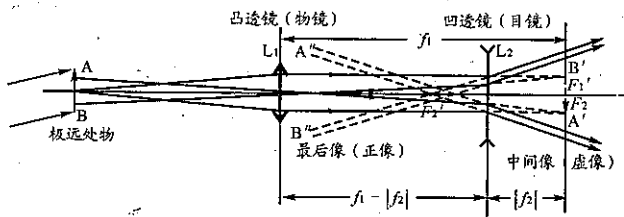


图 2.6

故选择长度接近 25 cm 的连接筒 J 直接连接物镜 D 和目镜 E 组成凸-凹望远镜.

3. 观察文字、图案

用凸-凸望远镜看到的文字是“□”①.

用凸-凹望远镜看到的图像是“⊕”.

① □ 是“热烈庆祝全国中学生物理竞赛 20 周年”和“选拔具有国际竞争能力创新人才”两句中的一个字.

第 34 届国际物理奥林匹克竞赛

试题与解答

复旦大学 郑永令 蒋最敏 译编

· 理论试题与解答 ·

[题 1] 连有落体的摆

半径为 R 的刚体圆柱体水平地架于地面上方, 一质量为 m 的摆球, 用长为 L ($L > 2\pi R$)、质量可忽略的细绳, 悬挂于圆柱体顶端的 A 点, 如图 1a 所示. 将摆球拉至与 A 点在同一水平位置, 其时细绳张紧, 然后静止放开摆球. 细绳的任何伸缩, 均可忽略. 假定摆球可视为质点, 且只在垂直于圆柱体轴线的竖直平面内摆动. 因此, 摆球有时亦以“质点”称之. 重力加速度为 g .

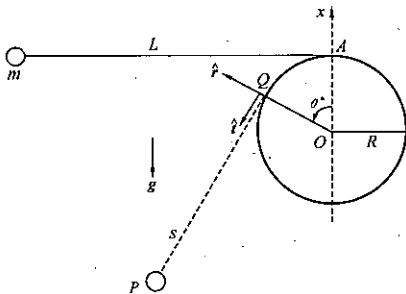


图 1a

如图 1a 所示, 取 O 为坐标原点. 当质点下落至 P 点时, 细绳与圆柱表面相切于 Q 点. 线段 QP 的长度以 s 表示. 在 Q 点处沿切线方向的单位矢量为 \hat{t} , 而沿半径方向的单位矢量为 \hat{r} . 取沿 OA 竖直向上的直线为 x 轴, 当 OA 沿逆时针方向转至 OQ 时, 其角位移 θ 为正值.

当 $\theta = 0$ 时, 线段 s 的长度等于 L , 质点的重力势能 U 设为零. 由于质点的运动, θ 与 s 的瞬时时间变化率分别用 $\frac{d\theta}{dt}$ 与 $\frac{ds}{dt}$ 表示.

除非另外标明,所有速率与速度均相对于固定点 O 而言.

A 部分

在 A 部分中,只考虑细绳处于张紧状态下的质点运动. 试利用以上所给量(即 $s, \theta, \frac{ds}{dt}, \frac{d\theta}{dt}, R, L, g, \hat{t}, \hat{r}$) 表示,求:

- $\frac{d\theta}{dt}$ 与 $\frac{ds}{dt}$ 间的关系.
- 动点 Q 相对于 O 点的速度 v_Q .
- 当质点位于 P 点时,它相对于动点 Q 的速度 v' .
- 当质点位于 P 点时,它相对于 O 点的速度 v .
- 当质点位于 P 点时,它相对于 O 点的加速度在方向 \hat{t} 的分量.
- 当质点位于 P 点时,它的重力势能 U .
- 质点在其轨迹线最低点时的速率 v_m .

B 部分

在 B 部分中, L 与 R 的比值为

$$\frac{L}{R} = \frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \cot \frac{\pi}{16} = 3.534 + 3.352 = 6.886$$

(h) 当由 Q 到 P 的细绳为直线,且其长度为最短时,质点的速率 v_s 为何?(以 g 与 R 表示)

(i) 当质点摆动到圆柱体的另一侧、且到达最高点时,其速率 v_H 为何?(以 g 与 R 表示)

C 部分

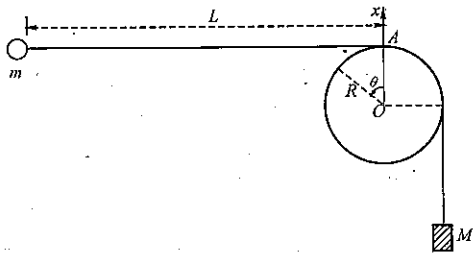


图 1b

在 C 部分中,质量为 m 的摆球并非悬吊于 A 点,而是系以细绳绕过圆柱体的顶端,在另一侧与一个质量为 M 的较重物体相连,如图 1b 所示.该重物亦可视作质点.

开始时,将摆球拉至与 A 点同一水平高度,另端之重物悬于 O 点以下,细绳处于张紧状态,其水平部分之长度为 L ; 然后静止释放摆球,重物则开始下落.假设摆球保持在竖直面内运动,且能摆过垂直下降的重物和细绳,而不与之相碰.

细绳与圆柱体表面间的动摩擦力可忽略不计,但静摩擦力足够大,使重物下落的速度一旦变为零,就能使其维持不动.

(j) 假设重物在下落距离 D 后,速度变为零,且 $L - D \gg R$. 若此后摆球能绕过圆柱体至 $\theta = 2\pi$ 且悬空的两段细绳始终保持伸直,则比值 $\alpha = D/L$ 必不小于某定值 α_c . 忽略量级为 R/L 及以上项,试估算临界值 α_c (以 M/m 表示).

[题 1 解答]

部分

(a) 由于细绳长 $L = s + R\theta$ 不变,因而有

$$\frac{ds}{dt} + R \frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (\text{A1})^* \textcircled{1}$$

(b) 相对于 O, Q 沿半径为 R 的圆周运动,角速度为 $\frac{d\theta}{dt}$, 所以

$$v_Q = R \frac{d\theta}{dt} \hat{t} = - \frac{ds}{dt} \hat{t} \quad (\text{A2})^*$$

(c) 相对于 Q, 质点在 Δt 时间间隔内的位移为

$$\Delta r' = (s\Delta\theta)(-\hat{r}) + \Delta s \hat{t}$$

见图 1 - A1, 由此得

$$v' = \frac{\Delta r'}{\Delta t} = -s \frac{d\theta}{dt} \hat{r} + \frac{ds}{dt} \hat{t} \quad (\text{A3})^*$$

(d) 质点相对 O 点的速度为分别由 (A2)、(A3) 两式给出的两速度之和, 于是

① 凡公式编号右上角有“*”号者为题目答案. 下同

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}' + \mathbf{v}_Q = -s \frac{d\theta}{dt} \hat{\mathbf{r}} + \frac{ds}{dt} \hat{\mathbf{t}} - \frac{ds}{dt} \hat{\mathbf{t}} = -s \frac{d\theta}{dt} \hat{\mathbf{r}} \quad (\text{A4})^*$$

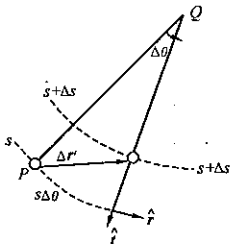


图 1 - A1

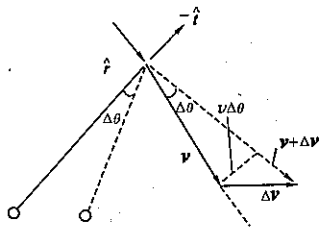


图 1 - A2

(e) 参见图 1 - A2, 速度改变量 $\Delta \mathbf{v}$ 的 $(-\hat{\mathbf{t}})$ 方向分量由下式给出

$$(-\hat{\mathbf{t}}) \cdot \Delta \mathbf{v} = v \Delta \theta = v \frac{d\theta}{dt} \Delta t$$

于是, 加速度 $\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$ 的 $\hat{\mathbf{t}}$ 分量为 $\hat{\mathbf{t}} \cdot \mathbf{a} = -v \frac{d\theta}{dt}$. 由式(A4), 质点的速度为 $s \frac{d\theta}{dt}$, 于是在 P 点处质点加速度的 $\hat{\mathbf{t}}$ 分量为

$$\mathbf{a}_t = \mathbf{a} \cdot \hat{\mathbf{t}} = -v \frac{d\theta}{dt} = -\left(s \frac{d\theta}{dt}\right) \frac{d\theta}{dt} = -s \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (\text{A5})^*$$

注意, 由图 1 - A2, 质点加速度的径向分量也可仿照上面方法得到

$$\mathbf{a}_r = \mathbf{a} \cdot \hat{\mathbf{r}} = -\frac{dv}{dt} = -d\left(s \frac{d\theta}{dt}\right) / dt$$

(f) 由图 1 - A3, 质点的重力势能可用 s 和 θ 表为

$$U(\theta) = -mgh = -mg[R(1 - \cos\theta) + s \sin\theta] \quad (\text{A6})^*$$

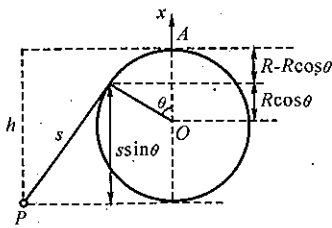


图 1 - A3

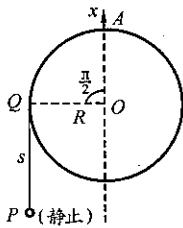


图 1 - A4

(g) 在轨迹的最低点, 质点的重力势能 U 必取极小值 U_m , 此势能极小位置可由质点的平衡位置求得. 不难看出, 此即 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 或 $s = L - \frac{\pi R}{2}$ 的位置(图 1 - A4). 故

$$U_m = U\left(\frac{\pi}{2}\right) = -mg\left(R + L - \frac{\pi R}{2}\right) \quad (\text{A7})$$

开始时质点的机械能为零, 由机械能守恒, 质点在轨迹最低点处的速率 v_m 满足

$$E = 0 = \frac{1}{2}mv_m^2 + U_m \quad (\text{A8})$$

由(A7)与(A8)式, 可得

$$v_m = \sqrt{-\frac{2U_m}{m}} = \sqrt{2g\left[R + \left(L - \frac{\pi R}{2}\right)\right]} \quad (\text{A9})^*$$

部分

(h) 由式(A6), 质点总机械能可表为

$$E = 0 = \frac{1}{2}mv^2 + U(\theta) = \frac{1}{2}mv^2 - mg[R(1 - \cos\theta) + s\sin\theta] \quad (\text{B1})$$

由式(A4), 质点速率等于 $s \frac{d\theta}{dt}$, 于是由式(B1) 可得

$$v^2 = \left(s \frac{d\theta}{dt}\right)^2 = 2g[R(1 - \cos\theta) + s\sin\theta] \quad (\text{B2})$$

设绳中张力为 T . 由图 1 - B1 所示, 作用在质点上的净力的 \hat{t} 分量为 $-T + mg\sin\theta$. 于是, 由牛顿第二定律, 有

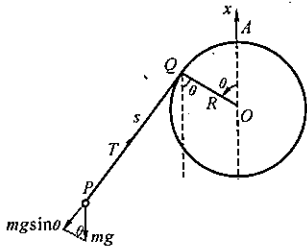


图 1 - B1

$$m \left[-s \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] = -T + mgs \sin\theta \quad (\text{B3})$$

根据式(B2)和(B3),张力可表为

$$T = m \left[g \sin\theta + s \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] = \frac{mg}{s} [2R(1 - \cos\theta) + 3s \sin\theta] = \frac{2mgR}{s} \left[\tan \frac{\theta}{2} - \frac{3}{2} \left(\theta - \frac{L}{R} \right) \right] \sin\theta = \frac{2mgR}{s} (y_1 - y_2) \sin\theta \quad (\text{B4})$$

函数 $y_1 = \tan \frac{\theta}{2}$ 和 $y_2 = \frac{3}{2} \left(\theta - \frac{L}{R} \right)$ 的曲线画于图1 - B2中。

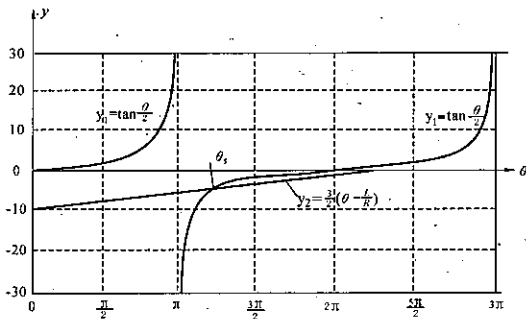


图1 - B2

由式(B4)和图1 - B2,得到表1 - B1所列结果.将 $y_2 = y_1$ 时

表1 - B1

	$y_1 - y_2$	$\sin\theta$	张力 T
$0 < \theta < \pi$	正	正	正
$\theta = \pi$	$+\infty$	0	正
$\pi < \theta < \theta_s$	负	负	正
$\theta = \theta_s$	零	负	零
$\theta_s < \theta < 2\pi$	正	负	负

的 θ 角记为 θ_s ($\pi < \theta_s < 2\pi$),它由下式给出

$$\frac{3}{2} \left(\theta_s - \frac{L}{R} \right) = \tan \frac{\theta_s}{2} \quad (\text{B5})$$

或
$$\frac{L}{R} = \theta_s - \frac{2}{3} \tan \frac{\theta_s}{2} \quad (\text{B6})$$

由于比值 L/R 由下式给定:

$$\frac{L}{R} = \frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \cot \frac{\pi}{16} = \left(\pi + \frac{\pi}{8} \right) - \frac{2}{3} \tan \frac{1}{2} \left(\pi + \frac{\pi}{8} \right) \quad (\text{B7})$$

由(B6)和(B7)两式可得 $\theta_s = \frac{9\pi}{8}$.

由表1-B1可知张力 T 在 $0 < \theta < \theta_s$ 的范围内恒正(即细绳必张紧). 一旦达到 θ_s , 张力即变为零, 此后悬空的细绳部分将不再张紧. s 的最小可能值 s_{\min} 出现在 $\theta = \theta_s$ 时, 并由下式给出:

$$s_{\min} = L - R\theta_s = R \left(\frac{9\pi}{8} + \frac{2}{3} \cot \frac{\pi}{16} - \frac{9\pi}{8} \right) = \frac{2R}{3} \cot \frac{\pi}{16} = 3.352R \quad (\text{B8})$$

当 $\theta = \theta_s$ 时, $T = 0$, 由式(B2)和(B3)可得 $v^2 = -gs \sin \theta$, 因而速率 v_s 为

$$v_s = \sqrt{-gs_{\min} \sin \theta_s} = \sqrt{\frac{2gR}{3} \cot \frac{\pi}{16} \sin \frac{\pi}{8}} = \sqrt{\frac{4gR}{3} \cos \frac{\pi}{16}} = 1.133 \sqrt{gR} \quad (\text{B9})^*$$

(i) 当 $\theta \geq \theta_s$ 时, 质点运动如同同一重力场中的抛体, 如图1-B3. 质点以初速 v_s 从位置 $P(x_s, y_s)$ 沿着与 y 轴成 $\varphi = \left(\frac{3\pi}{2} - \theta_s \right)$ 的仰角抛出.

质点在其抛物线轨道最高点的速率 v_H 等于它抛出时初速的 y 分量. 于是

$$v_H = v_s \sin(\theta_s - \pi) = \sqrt{\frac{4gR}{3}} \cos \frac{\pi}{16} \sin \frac{\pi}{8} = 0.4334 \sqrt{gR} \quad (\text{B10})^*$$

质点从抛出点 P 至最高点行进的水平距离 H 为

$$H = \frac{v_s^2 \sin 2(\theta_s - \pi)}{2g} = \frac{v_s^2}{2g} \sin \frac{\pi}{4} = 0.4535R \quad (\text{B11})$$

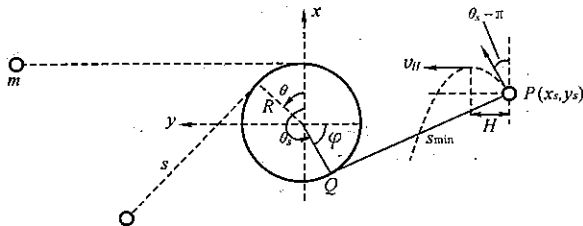


图1-B3

当 $\theta = \theta_s$ 时, 质点的坐标由下列表式给出:

$$x_s = R \cos \theta_s - s_{\min} \sin \theta_s = -R \cos \frac{\pi}{8} + s_{\min} \sin \frac{\pi}{8} = 0.3587R \quad (\text{B12})$$

$$y_s = R \sin \theta_s + s_{\min} \cos \theta_s = -R \sin \frac{\pi}{8} - s_{\min} \cos \frac{\pi}{8} = -3.479R$$

显然, $|y_s| > (R + H)$, 因而质点可到达其最高位置而不与圆柱表面相碰。

C 部分

(j) 假定重物起始位于 O 点以下 h 距离处, 如图 1 - C1 所示。

当重物下落距离 D 而停止运动后, 将机械能守恒定律应用于质点 - 重物系统, 有

$$-Mgh = E' - Mg(h + D) \quad (\text{C1})$$

式中 E' 为重物停止运动后, 质点的总机械能。由此得

$$E' = MgD \quad (\text{C2})$$

设细绳的总长度为 Λ , 它在任意角位移 θ 时的值应与 $\theta = 0$ 时的值相同, 即

$$\Lambda = L + \frac{\pi}{2}R + h = s + R\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) + (h + D) \quad (\text{C3})$$

注意到 $D = \alpha L$, 引入 $l = L - D$, 则

$$l = L - D = (1 - \alpha)L \quad (\text{C4})$$

由式(C3)、(C4)得

$$s = L - D - R\theta = l - R\theta \quad (\text{C5})$$

重物停止运动后, 质点的总机械能应守恒。根据式(C2), 现在式(B1)改变为

$$E' = MgD = \frac{1}{2}mv^2 - mg[R(1 - \cos\theta) + ss\sin\theta] \quad (\text{C6})$$

由此得质点速率的平方为

$$v^2 = \left(s \frac{d\theta}{dt}\right)^2 = \frac{2MgD}{m} + 2gR \left[1 - \cos\theta + \frac{s}{R} \sin\theta\right] \quad (\text{C7})$$

因式(B3) 仍成立, 张力 T 由下式给定:

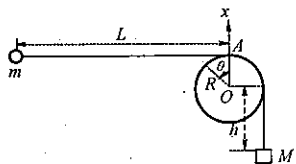


图 1 - C1

$$-T + mg\sin\theta = m\left[-s\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2\right] \quad (C8)$$

由以上两式可得

$$\begin{aligned} T &= m\left[s\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + g\sin\theta\right] = \\ &= \frac{mg}{s}\left[\frac{2M}{m}D + 2R(1 - \cos\theta) + 3s\sin\theta\right] = \\ &= \frac{2mgR}{s}\left[\frac{MD}{mR} + (1 - \cos\theta) + \frac{3}{2}\left(\frac{l}{R} - \theta\right)\sin\theta\right] \end{aligned} \quad (C9)$$

在得到最后一式时应用了式(C5).

现引入函数

$$f(\theta) = 1 - \cos\theta + \frac{3}{2}\left(\frac{l}{R} - \theta\right)\sin\theta \quad (C10)$$

由条件 $l = L - D \gg R$, 上式可写为

$$f(\theta) \approx 1 + \frac{3}{2}\frac{l}{R}\sin\theta - \cos\theta = 1 + A\sin(\theta - \varphi) \quad (C11)$$

式中

$$A = \sqrt{1 + \left(\frac{3}{2}\frac{l}{R}\right)^2}, \quad \varphi = \arctan\frac{2R}{3l} \quad (C12)$$

由式(C11)可看出 $f(\theta)$ 的极小值由下式给出:

$$f_{\min} = 1 - A = 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{3l}{2R}\right)^2} \quad (C13)$$

由题意, 当质点绕柱摆动时张力 T 始终保持为正(即绳始终伸直), 由式(C9)可得不等式

$$\frac{MD}{mR} + f_{\min} = \frac{M(L-l)}{mR} + 1 - \sqrt{1 + \left(\frac{3l}{2R}\right)^2} \geq 0 \quad (C14)$$

即

$$\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1 \geq \left(\frac{Ml}{mR}\right) + \sqrt{1 + \left(\frac{3l}{2R}\right)^2} \approx \left(\frac{Ml}{mR}\right) + \left(\frac{3l}{2R}\right) \quad (C15)$$

由式(C4), 则式(C15)可改写为

$$\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1 \geq \left(\frac{ML}{mR} + \frac{3L}{2R}\right)(1 - a) \quad (C16)$$

各去量级为 R/L 及更高次项, 上式导致

$$\alpha \geq 1 - \frac{\left(\frac{ML}{mR}\right) + 1}{\frac{ML}{mR} + \frac{3L}{2R}} = \frac{\left(\frac{3L}{2R}\right) - 1}{\frac{ML}{mR} + \frac{3L}{2R}} = \frac{1 - \frac{2R}{3L}}{\frac{2M}{3m} + 1} \approx \frac{1}{1 + \frac{2M}{3m}} \quad (C17)$$

于是比值 D/L 的临界值为

$$\alpha_c = \frac{1}{1 + \frac{2M}{3m}} \quad (C18)^*$$

[题 2] 交流电压下的压电晶体共振器

考虑一根自然长度为 l 、截面积为 A 的均匀长棒(图 2a), 当其两端面受到大小相等、方向相反的法向作用力 F 时, 其长度的改变量为 Δl . 应力 T 定义为 F/A , 而长度的相对变化即 $\Delta l/l$, 则称为应变 S . 用应力和应变表示胡克定律, 可写为

$$T = YS$$

或

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta l}{l} \quad (1)$$

上式中的比例常数 Y 称为棒材料的杨氏模量. 注意: 压应力 T 会使棒的长度缩短, 其所对应的纵向作用力为负值(即 $F < 0$), 长度的变化量也为负值(即 $\Delta l < 0$), 故压应力与压强 p 的关系为 $p = -T$.

对密度为 ρ 的均匀长棒而言, 沿棒传播的纵波(即声波), 其波速 u 可由下式给出:

$$u = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2)$$

在回答以下问题中, 假设阻尼及损耗效应皆可忽略.

A 部分. 力学性质

一根由 $x = 0$ 延伸至 $x = \infty$ 的均匀半无限长棒, 密度为 ρ , 最初静止, 且不受应力. 在一很短的时间间隔 Δt 内, 以活塞对 $x = 0$ 处的棒的左端面(图 2b), 施加大小恒定的压力, 使产生一压力波, 以速率 u 向右传播.

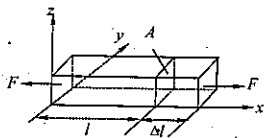


图 2a

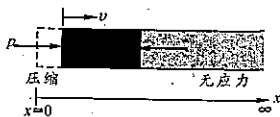


图 2b

(a) 若棒的左端面以恒定速度 v 运动(图 2b), 在时间 Δt 内, 棒左端之应变 S 与压强 p 各为何? (答案只能以 ρ, u, v 表示)

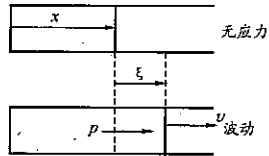


图 2c

(b) 考虑棒内沿 x 方向行进的纵波. 以 x 表示棒内一横截面无应力下的平衡位置(图 2c), 以 $\xi(x, t)$ 表示此横截面在时刻 t 之位移, 并设

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x - ut) \quad (3)$$

式中 ξ_0 及 k 为常量, 试求出速度 $v(x, t)$ 、应变 $S(x, t)$ 及压强 $p(x, t)$ 随 x 与 t 变化的函数.

3 部分 机电性质(包括压电效应)

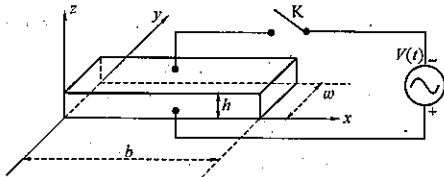


图 2d

考虑一块长度为 b , 宽度为 w , 厚度为 h 的均匀的石英晶片(图 2d), 其长度沿 x 轴, 厚度沿 z 轴. 晶片的上、下表面各镀有一层金属薄膜作为电极. 焊接在电极中心点的两条引线兼作为支柱(图 2e). 对沿 x 轴的纵向振动而言, 这两个电极及中心点可视为固定不动.

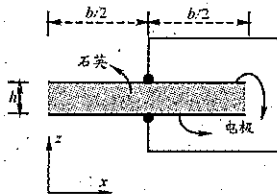


图 2e

此石英晶体的密度 ρ 为 $2.65 \times 10^3 \text{ g/m}^3$, 杨氏模量 Y 为 $7.87 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, 晶片

的长度 b 为 1.00 cm , 而宽度 w 与厚度 h 则满足 $w \ll b$ 与 $h \ll w$. 当开关未闭合时, 石英晶体中只激发起沿 x 轴方向的纵向模式的驻波振动.

对于频率为 $f = \omega/2\pi$ 的驻波, 平衡位置位于 x 处的截面, 在时刻 t , 其位移 $\xi(x, t)$ 可以表示为

$$\xi(x, t) = 2\xi_0 g(x) \cos \omega t \quad (0 \leq x \leq b) \quad (4a)$$

式中 ξ_0 为正常量, 而位置函数 $g(x)$ 可表示为下列形式

$$g(x) = B_1 \sin k \left(x - \frac{b}{2} \right) + B_2 \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) \quad (4b)$$

$g(x)$ 的最大值为 1, 式中 $k = \omega/u$. 请记住电极的中心是静止的, 而晶片的左、右端面是自由的, 因而应力(或压强)为零.

(c) 就此石英晶片的纵驻波, 确定方程(4b) 中的 B_1 和 B_2 值.

(d) 此石英晶片中激发的纵驻波的两个最低频率为何?

压电效应是石英晶体的一种特性. 晶体被压缩或拉伸时, 其两端会产生电压; 反之, 若在晶体两端施加电压, 则依据电压的极性, 晶体会伸张或收缩. 因而, 机械振动和电振动会通过石英晶体互相耦合并引起共振.

为说明压电效应, 设当石英晶片中存在沿 z 方向的电场 E 时, 其上、下电极的电荷面密度分别为 $+\sigma$ 与 $-\sigma$. 分别以 S 与 T 分别表示晶片沿 x 方向的应变与应力, 则此石英晶片的压电效应, 可用下列一组关系式表示:

$$S = \frac{1}{Y} T + d_p E \quad (5a)$$

$$\sigma = d_p T + \epsilon_T E \quad (5b)$$

其中 $1/Y = 1.27 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$ 为定电场下的弹性顺度(即杨氏模量 Y 的倒数), $\epsilon_T = 4.06 \times 10^{-11} \text{ F/m}$ 为定应力下之电容率, 而 $d_p = 2.25 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 则为压电常量.

将图 2d 中的开关 K 接通, 则两电极间加有交变电压为 $V(t) = V_m \cos \omega t$, 从而在晶片中存在一均匀电场 $E(t) = V(t)/h$. 则最后会达到稳定态, 晶片中出现沿 x 方向, 角频率为 ω 的纵驻波振荡.

当电场 E 均匀时, 纵驻波的波长 λ 与频率 f 的关系仍满足 $\lambda = u/f$, 其中 u 由式(2) 给定. 但是正如式(5a) 所示, $T = YS$ 不再成立, 尽管应力与应变的定义保持不变, 且晶片两端面保持自由而无应力.

(e) 考虑方程(5a) 及(5b), 下电极板上的电荷面密度 σ , 随 x 与 t 变化的函数为

$$\sigma(x, t) = \left[D_1 \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) + D_2 \right] \frac{V(t)}{h}$$

式中 $k = \omega/u$. 求 D_1, D_2 的表示式.

(f) 下电极上的总电荷 $Q(t)$ 与电压 $V(t)$ 的关系为

$$Q(t) = \left[1 + \alpha^2 \left(\frac{2}{kb} \tan \frac{kb}{2} - 1 \right) \right] C_0 V(t) \quad (6)$$

式求出常数 C_0 的表示式与 α^2 的表示式及其数值。

[题 2 解答]

1 部分

(a) 参见图 2 - A1, 棒的左端面移动的距离 $v\Delta t$, 同时压力波传播距离 $u\Delta t$, $u = \sqrt{Y/\rho}$, 于是左端面处应变为

$$S = \frac{\Delta l}{l} = \frac{-v\Delta t}{u\Delta t} = -\frac{v}{u} \quad (A1a)^*$$

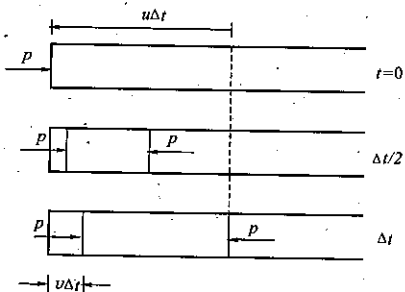


图 2 - A1

根据胡克定律, 左端面处的压强

$$p = -YS = Y \frac{v}{u} = \rho uv \quad (A1b)^*$$

(b) 速度 v 与做角频率 $\omega = ku$ 的简谐运动的位移 ξ 相联系(位移 ξ 也可看作匀速圆运动的投影, 如图 2 - A2 所示), 于是, 若

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x - ut)$$

$$\text{则 } v(x, t) = -ku\xi_0 \cos k(x - ut) \quad (A2)^*$$

应变和压强与速度的关系同问题(a), 因而

$$S(x, t) = -v(x, t)/u = k\xi_0 \cos k(x - ut) \quad (A3)^*$$

$$p(x, t) = \rho uv(x, t) = -k\rho u^2 \xi_0 \cos k(x - ut) =$$

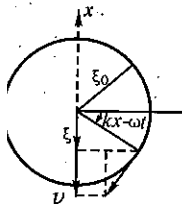


图 2 - A2

$$-YS(x, t) = -kY\xi_0 \cos k(x - ut) \quad (A4)^*$$

或者,答案也可用微分得到:

$$v(x, t) = \frac{d\xi}{dt} = -ku\xi_0 \cos k(x - ut)$$

$$S(x, t) = \frac{d\xi}{dx} = k\xi_0 \cos k(x - ut)$$

$$p(x, t) = -Y \frac{d\xi}{dx} = -kY\xi_0 \cos k(x - ut)$$

B 部分

(c) 既然角频率 ω 和传播速度 u 已知,波长就可由 $\lambda = 2\pi/k$ 得到,其中 $k = \omega/u$. 由题意,位移随位置的变化函数用下式描写

$$g(x) = B_1 \sin k\left(x - \frac{b}{2}\right) + B_2 \cos k\left(x - \frac{b}{2}\right) \quad (B1)$$

既然电极中心已假定固定不动,则 $g\left(\frac{b}{2}\right) = 0$, 这即导致 $B_2 = 0$. 已知 $g(x)$ 的极大值为 1, 可得 $B_1 = \pm 1$, 得

$$g(x) = \pm \sin \frac{\omega}{u} \left(x - \frac{b}{2}\right) \quad (B2)^*$$

于是位移

$$\xi(x, t) = \pm 2\xi_0 \sin \frac{\omega}{u} \left(x - \frac{b}{2}\right) \cos \omega t \quad (B3)$$

(d) 既然压强 p (或应力 T) 在晶片的两端面处(即 $x = 0$ 和 $x = b$ 处)为零,本题的答案可用类比法从长度为 b 的两端开放的管子中的声驻波频率得到. 但由于电极的中心固定不动,所有基音的偶次谐频必须剔除,因为它们 在晶片的中心截面处为位移的波腹,而不是波节.

既然对基音有波长 $\lambda = 2b$, 则基频由 $f_1 = u/(2b)$ 给出. 波的传播速率 u 由下式给出:

$$u = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{7.87 \times 10^{10}}{2.65 \times 10^3}} \text{ m/s} = 5.45 \times 10^3 \text{ m/s} \quad (B4)$$

已知 $b = 1.00 \times 10^{-2}$ m, 因而两最低驻波频率为

$$f_1 = \frac{u}{2b} = 273 \text{ kHz} \quad f_3 = 3f_1 = \frac{3u}{2b} = 818 \text{ kHz} \quad (\text{B5})^*$$

(c)、(d) 两题的另一种解法:

晶片中的纵驻波在 $x = b/2$ 处为位移波节, 该驻波可看成两反向行进波的合成, 于是, 其位移和速度应有如下形式:

$$\xi(x, t) = 2\xi_m \sin k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos \omega t = \xi_m \left[\sin k \left(x - \frac{b}{2} - ut \right) + \sin k \left(x - \frac{b}{2} + ut \right) \right] \quad (\text{B6})$$

$$v(x, t) = -ku\xi_m \left[\cos k \left(x - \frac{b}{2} - ut \right) - \cos k \left(x - \frac{b}{2} + ut \right) \right] = -2\omega\xi_m \sin k \left(x - \frac{b}{2} \right) \sin \omega t \quad (\text{B7})$$

中 $\omega = ku$, 方括号中第 1 项和第 2 项分别表示沿 $+x$ 方向和沿 $-x$ 方向进进的波. 注意, 若令 $\xi_m = \pm \xi_0$, 则式 (B6) 与式 (B3) 相同.

对于沿 $-x$ 方向行进的波, 式 (A1a) 和 (A1b) 中的速度 v 应用 $-v$ 代, 是我们有

$$S = \frac{-v}{u} \quad \text{和} \quad p = \rho uv \quad (\text{沿} +x \text{ 方向行进的波}) \quad (\text{B8})$$

$$S = \frac{v}{u} \quad \text{和} \quad p = -\rho uv \quad (\text{沿} -x \text{ 方向行进的波}) \quad (\text{B9})$$

题 (b) 中的应变和压强遂为

$$S(x, t) = -k\xi_m \left[-\cos k \left(x - \frac{b}{2} - ut \right) - \cos k \left(x - \frac{b}{2} + ut \right) \right] = 2k\xi_m \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos \omega t \quad (\text{B10})$$

$$p(x, t) = -\rho u \omega \xi_m \left[\cos k \left(x - \frac{b}{2} - ut \right) + \cos k \left(x - \frac{b}{2} + ut \right) \right] = -2\rho u \omega \xi_m \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos \omega t \quad (\text{B11})$$

意, v , S 和 p 也可像问题 (b) 那样由对 ξ 求导得到.

由于晶片在两端面 ($x = 0$ 和 $x = b$) 处是自由的, 因而在任何时刻两端处的应力或压强应为零. 由式 (B11), 这必导致 $\cos(kb/2) = 0$ 或

$$kb = \frac{\omega}{u}b = \frac{2\pi f}{\lambda}b = n\pi \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (\text{B12})$$

用波长 λ 表示, 式(B12) 可写成

$$\lambda = \frac{2b}{n} \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (\text{B13})$$

频率则为

$$f = \frac{u}{\lambda} = \frac{nu}{2b} = \frac{n}{2b} \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (\text{B14})$$

此结果与式(B4) 和(B5) 给出的相同。

(e) 由题中式(5a) 和(5b), 压电效应导致下列方程

$$T = Y(S - d_p E) \quad (\text{B15})$$

$$\sigma = Y d_p S + \epsilon_T \left(1 - Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \right) E \quad (\text{B16})$$

由于对晶片中任意纵驻波, $x = b/2$ 处均为位移波节, 位移 ξ 和应变 S 必具式(B6) 和式(B10) 的形式:

$$\xi(x, t) = \xi_m \sin k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos(\omega t + \varphi) \quad (\text{B17})$$

$$S(x, t) = k \xi_m \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos(\omega t + \varphi) \quad (\text{B18})$$

现式中在时间相关因子中加了一个相位常数 φ 。

已假定电极间电场均匀而仅依赖于时间

$$E(x, t) = \frac{V(t)}{h} = \frac{V_m \cos \omega t}{h} \quad (\text{B19})$$

将式(B18), 式(B19) 代入式(B15), 得

$$T = Y \left[k \xi_m \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) \cos(\omega t + \varphi) - \frac{d_p}{h} V_m \cos \omega t \right] \quad (\text{B20})$$

由于晶片两端面($x = 0$ 和 $x = b$) 自由, 任何时刻两端面处的应力 T 应为零, 这必导致 $\varphi = 0$ 及

$$k \xi_m \cos \frac{kb}{2} = d_p \frac{V_m}{h} \quad (\text{B21})$$

既然 $\varphi = 0$, 由式(B16), (B18) 和(B19) 可知电荷面密度也具有同样的时间依赖关系并可表为

$$\sigma(x, t) = \sigma(x) \cos \omega t \quad (\text{B22})$$

x 有关的因子 $\sigma(x)$ 可表为

$$\begin{aligned} \sigma(x) &= Y d_p k \xi_m \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) + \epsilon_T \left(1 - Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \right) \frac{V_m}{h} = \\ & \left[Y \frac{d_p^2}{\cos \frac{kb}{2}} \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) + \epsilon_T \left(1 - Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \right) \right] \frac{V_m}{h} \quad (\text{B23})^* \end{aligned}$$

(f) 在时刻 t , 下电极上的总面电荷 $Q(t)$ 可由式(B22)中的 $\sigma(x, t)$ 对极表面积分得到. 结果为

$$\begin{aligned} \frac{Q(t)}{V(t)} &= \frac{1}{V(t)} \int_0^b \sigma(x, t) w dx = \frac{1}{V_m} \int_0^b \sigma(x) w dx = \\ & \frac{w}{h} \int_0^b \left[Y \frac{d_p^2}{\cos \frac{kb}{2}} \cos k \left(x - \frac{b}{2} \right) + \epsilon_T \left(1 - Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \right) \right] dx = \\ & \left(\epsilon_T \frac{bw}{h} \right) \left[Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \left(\frac{2}{kb} \tan \frac{kb}{2} \right) + \left(1 - Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} \right) \right] = \\ & C_0 \left[\alpha^2 \left(\frac{2}{kb} \tan \frac{kb}{2} \right) + (1 - \alpha^2) \right] \end{aligned}$$

中

$$\begin{aligned} C_0 &= \epsilon_T \frac{bw}{h} \\ \alpha^2 &= Y \frac{d_p^2}{\epsilon_T} = \frac{(2.25 \times 10^{-12})^2}{1.27 \times 10^{-11} \times 4.06 \times 10^{-11}} = 9.82 \times 10^{-3} \quad (\text{B25})^* \end{aligned}$$

常数 α 称为机电耦合系数)

注意: 结果 $C_0 = \epsilon_T bw/h$ 可由题中方程(5) 考虑静态极限 $k = 0$ 的情况看出, 当 $x \ll 1$ 时, $\tan x \approx x$, 可得

$$\lim_{k \rightarrow 0} \frac{Q(t)}{V(t)} \approx C_0 [\alpha^2 + (1 - \alpha^2)] = C_0 \quad (\text{B26})$$

然, 常量 C_0 就是以石英晶片(厚 h , 电容率 ϵ_T) 作为电介质, 由两电极(面积为 bw) 形成的平行板电容器的电容, 所以它等于 $\epsilon_T bw/h$.

[题 3]

部分 中微子质量与中子衰变

一个质量为 m_n 的自由中子, 在实验室参考系中静止时衰变成 3 个无

相互作用的粒子:1个质子,1个电子和1个反中微子.质子的静止质量为 m_p ,反中微子的静止质量 m_ν ,假设不为零,但比电子的静止质量 m_e 小很多.真空中的光速以 c 表示.诸测量值如下:

$$m_n = 939.565\ 63\ \text{MeV}/c^2$$

$$m_p = 938.272\ 31\ \text{MeV}/c^2$$

$$m_e = 0.510\ 990\ 7\ \text{MeV}/c^2$$

以下所有能量与速度均相对于实验室参照系而言.令衰变产生的电子所拥有的总能量为 E .

(a) 求 E 的最大可能值 E_{\max} , 及当 $E = E_{\max}$ 时反中微子的速率 v_m . 两个答案都必须以粒子的静止质量和光速表示. 若已知 $m_\nu < 7.3\ \text{eV}/c^2$, 试计算 E_{\max} 和 v_m/c 的数值至3位有效数字.

B部分 光浮

一透明玻璃半球半径为 R , 质量为 m , 折射率为 n . 半球外介质的折射率为 1. 一单色平行激光束, 沿法向均匀射向半球平表面的正中央部份, 如图 3a 所示. 在此图中重力加速度 g 竖直向下. 激光束的圆截面半径 δ 远小于 R . 玻璃半球和激光束都以 z 轴为对称轴.

玻璃半球不吸收任何激光. 玻璃球表面已经过光学涂料的处理, 因此入射光及出射光在平面及球面的反射可以忽略不计, 且激光在光学涂料中的光程也可忽略.

(b) 若忽略量级为 $(\delta/R)^3$ 及更高次项, 求为平衡玻璃半球的重力所需的激光功率 P .

提示: 当角度 θ 远小于 1 时, 有

$$\cos\theta \approx 1 - \theta^2/2$$

[题 3 解答]

A部分 中微子质量与中子衰变

设在实验室参照系(即中子静止系)中, 中子衰变产生的电子能量为

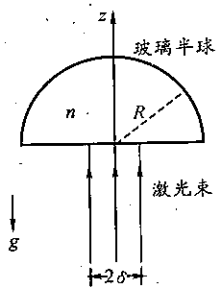


图 3a

e ($= E$), 动量为 p_e ; 质子能量为 E_p , 动量为 p_p ; 反中微子能量为 E_ν , 动量为 p_ν . 将动量 p_α 的大小记为 p_α , 则有

$$\left. \begin{aligned} E_e^2 &= m_e^2 c^4 + p_e^2 c^2 \\ E_p^2 &= m_p^2 c^4 + p_p^2 c^2 \\ E_\nu^2 &= m_\nu^2 c^4 + p_\nu^2 c^2 \end{aligned} \right\} \quad (\text{A1})$$

由能量与动量守恒可得

$$E_p + E_\nu = E_n - E_e \quad (\text{A2})$$

$$\mathbf{p}_p + \mathbf{p}_\nu = -\mathbf{p}_e \quad (\text{A3})$$

式中 E_n 为中子的静能. 将式(A2)和式(A3)两边平方, 得

$$E_p^2 + E_\nu^2 + 2E_p E_\nu = E_n^2 + E_e^2 - 2E_n E_e \quad (\text{A4})$$

$$p_p^2 + p_\nu^2 + 2\mathbf{p}_p \cdot \mathbf{p}_\nu = p_e^2 \quad (\text{A5})$$

上式两边同乘以 c^2

$$p_p^2 c^2 + p_\nu^2 c^2 + 2\mathbf{p}_p \cdot \mathbf{p}_\nu c^2 = p_e^2 c^2 \quad (\text{A5a})$$

式(A4) - 式(A5a), 并利用式(A1)得

$$m_p^2 c^4 + m_\nu^2 c^4 + 2(E_p E_\nu - \mathbf{p}_p \cdot \mathbf{p}_\nu c^2) = E_n^2 + m_e^2 c^4 - 2E_n E_e \quad (\text{A6})$$

$$\text{即 } 2E_n E_e = E_n^2 + m_e^2 c^4 - m_p^2 c^4 - m_\nu^2 c^4 - 2(E_p E_\nu - \mathbf{p}_p \cdot \mathbf{p}_\nu c^2) \quad (\text{A7})$$

若设 \mathbf{p}_p 与 \mathbf{p}_ν 间的夹角为 θ , 则 $\mathbf{p}_p \cdot \mathbf{p}_\nu = p_p p_\nu \cos\theta \leq p_p p_\nu$, 由上式得

$$2E_n E_e \leq E_n^2 + m_e^2 c^4 - m_p^2 c^4 - m_\nu^2 c^4 - 2(E_p E_\nu - p_p p_\nu c^2) \quad (\text{A8})$$

由上式可见, 电子能量当 $\theta = 0$, 即当反中微子和质子沿同一方向运动时达到最大.

可将 E_p, p_p, E_ν, p_ν 分别与 m_p, m_ν 联系起来, 由能量 - 动量三角形(图 3 - A1), 得

$$\left. \begin{aligned} E_p &= m_p c^2 / \cos\varphi_p \\ E_\nu &= m_\nu c^2 / \cos\varphi_\nu \end{aligned} \right\} \quad (\text{A9})$$

$$\left. \begin{aligned} p_p c &= m_p c^2 \tan\varphi_p \\ p_\nu c &= m_\nu c^2 \tan\varphi_\nu \end{aligned} \right\} \quad (\text{A10})$$

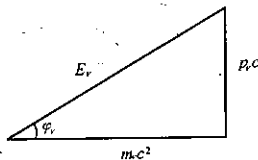


图 3 - A1

于是式(A8)变为

$$2E_n E_e \leq E_n^2 + m_e^2 c^4 - m_p^2 c^4 - m_\nu^2 c^4 - 2m_p m_\nu c^4 \left[\frac{1 - \sin\varphi_p \sin\varphi_\nu}{\cos\varphi_p \cos\varphi_\nu} \right] \quad (\text{A11})$$

上式最后一项括号中的因子可表为

$$\begin{aligned} \frac{1 - \sin\varphi_p \sin\varphi_\nu}{\cos\varphi_p \cos\varphi_\nu} &= \frac{1 - \sin\varphi_p \sin\varphi_\nu - \cos\varphi_p \cos\varphi_\nu}{\cos\varphi_p \cos\varphi_\nu} + 1 = \\ &= \frac{1 - \cos(\varphi_p - \varphi_\nu)}{\cos\varphi_p \cos\varphi_\nu} + 1 \geq 1 \end{aligned} \quad (\text{A12})$$

显然上述因子的极小值出现在 $\varphi_p = \varphi_\nu$ 时,即出现在反中微子和质子以同一速度运动时.因此,由式(A11)得 E_e 的极大值

$$\begin{aligned} E_{\max} &= \frac{1}{2E_n} [E_n^2 + m_e^2 c^4 - m_p^2 c^4 - m_\nu^2 c^4 - 2m_p m_\nu c^4] = \\ &= \frac{c^2}{2m_n} [m_n^2 + m_e^2 - (m_p + m_\nu)^2] \end{aligned} \quad (\text{A13})^*$$

以相应数值代入,并利用 $m_\nu \ll m_p$,略去 m_ν ,得

$$E_{\max} \approx 1.292\ 569\ \text{MeV} \approx 1.29\ \text{MeV} \quad (\text{A14})^*$$

当反中微子与质子以同一速度运动时,反中微子的速度

$$v_\nu = \frac{m_\nu v_\nu}{m_\nu} = \frac{p_\nu}{E_\nu / c^2} = \frac{c^2 p_\nu}{E_\nu}$$

同理,质子速度

$$v_p = \frac{c^2 p_p}{E_p}$$

由以上二式得

$$v_\nu = v_p = c^2 \frac{p_\nu + p_p}{E_\nu + E_p} = c \frac{p_e c}{E_\nu + E_p} = c \frac{\sqrt{E_e^2 - m_e^2 c^4}}{E_n - E_e} \quad (\text{A15})$$

其中 E_e 应取 E_{\max} ,以式(A13)* 的 E_{\max} 代入上式,得 v_ν 的相应值 v_m

$$\begin{aligned} v_m &= c \frac{\sqrt{E_{\max}^2 - m_e^2 c^4}}{E_n - E_{\max}} = \\ &= \frac{1}{2m_n} \sqrt{[m_n^2 + m_e^2 - (m_p + m_\nu)^2]^2 - 4m_n^2 m_e^2} \\ &= \frac{1}{2m_n} \sqrt{[m_n^2 + m_e^2 - (m_p + m_\nu)^2]^2 - 4m_n^2 m_e^2} \\ &= \frac{\sqrt{[m_n^2 + m_e^2 - (m_p + m_\nu)^2]^2 - 4m_n^2 m_e^2}}{2m_n - [m_n^2 + m_e^2 - (m_p + m_\nu)^2]} \approx 0.001\ 27c \end{aligned} \quad (\text{A16})^*$$

3部分 光浮

(b) 参见图 3 - B1. 射向球面的光服从斯涅尔定律而有

$$n \sin \theta_i = \sin \theta, \quad (\text{B1})$$

在正弦函数中, 忽略量级 $(\delta/R)^3$ 及更高次项, 上式变为

$$n \theta_i = \theta, \quad (\text{B2})$$

对图 3 - B1 中的 $\triangle FAC$, 有

$$\beta = \theta_i - \theta_i \approx n \theta_i - \theta_i = (n - 1) \theta_i \quad (\text{B3})$$

设入射光的频率为 f_0 . 若单位时间入射到单位面积平面上的光子数为 n_p , 则单位时间入射到平表面上的总光子数为 $n_p \pi \delta^2$. 入射到平面上的光子的总功率为 $P = (n_p \pi \delta^2)(h f_0)$, 式中 h 为普朗克常量, 因而

$$n_p = \frac{P}{\pi \delta^2 h f_0} \quad (\text{B4})$$

单位时间入射到平表面上内半径为 r , 外半径为 $r + dr$ 的环带上的光子数为 $n_p(2\pi r dr)$, 其中 $r = R \sin \theta_i \approx R \theta_i$, 于是单位时间入射到环带上的光子数为

$$n_p(2\pi r dr) \approx n_p(2\pi R^2) \theta_i d\theta_i \quad (\text{B5})$$

当这些光子在球面上发生折射时, 单位时间带走光的动量的 z 分量为

$$\begin{aligned} dF_z &= n_p(2\pi r dr) \frac{h f_0}{c} \cos \beta \approx n_p \frac{h f_0}{c} (2\pi R^2) \left(1 - \frac{\beta^2}{2}\right) \theta_i d\theta_i \approx \\ & n_p \frac{h f_0}{c} (2\pi R^2) \left[\theta_i - \frac{(n-1)^2}{2} \theta_i^3\right] d\theta_i \end{aligned} \quad (\text{B6})$$

所以单位时间被光子带走的总动量为

$$\begin{aligned} F_z &= 2\pi R^2 n_p \frac{h f_0}{c} \int_0^{\theta_{in}} \left[\theta_i - \frac{(n-1)^2}{2} \theta_i^3\right] d\theta_i = \\ & \pi R^2 n_p \frac{h f_0}{c} \theta_{in}^2 \left[1 - \frac{(n-1)^2}{4} \theta_{in}^2\right] \end{aligned} \quad (\text{B7})$$

其中 $\theta_{in} = \arcsin \frac{\delta}{R} \approx \frac{\delta}{R}$. 于是, 再利用式 (B4), 上式变为

$$F_z = \frac{\pi R^2 P}{\pi \delta^2 h f_0} \frac{h f_0}{c} \frac{\delta^2}{R^2} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4 R^2}\right] = \frac{P}{c} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4 R^2}\right] \quad (\text{B8})$$

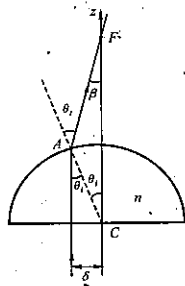


图 3 - B1

光浮力等于入射光和折射光作用在玻璃半球上的作用力的 z 分量的总和, 并可表为

$$\frac{P}{c} + (-F_z) = \frac{P}{c} - \frac{P}{c} \left[1 - \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2} \right] = \frac{(n-1)^2 \delta^2}{4R^2} \frac{P}{c} \quad (\text{B9})$$

此力应与玻璃半球的重力相等, 由此可得出为悬浮半球所需之激光功率

$$P = \frac{4mgcR^2}{(n-1)^2 \delta^2} \quad (\text{B10})^*$$

·实验试题与解答·

实验设备

1. 可用仪器列表如下

代号	器 材	数量	代号	器 材	数量
A	光探测器(PD)	1	I	电池	2
B	偏光镜与旋转镜座	2	J	电池盒	1
C	90°TN-LC液晶盒与旋转液晶座	1	K	光具座	1
D	函数产生器	1	L	半透光纸	2
E	激光二极管(LD)	1	M	直尺	1
F	多用电表	2	N	白色胶带*(在器材上做记号用)	1
G	平行液晶盒	1	O	剪刀	1
H	可变电阻	1	P	作图纸	10

*不可在器材做记号, 如有需要, 贴一片白色胶带, 在胶带上做记号.

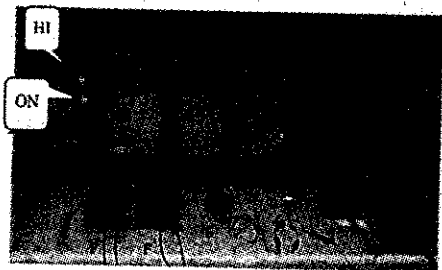


图1 实验装置示意图

2. 多用电表说明

- “DC/AC”开关可选直流或交流。

- 用“V Ω ”与“COM”接头来测量电压或电阻。

- 用“mA”与“COM”接头来测量小电流。数字显示为 mA 值。

- 用功能旋钮选择适当的功能与测量范围。“V”代表测量电压，“A”代表测量电流，而“ Ω ”代表测量电阻。

3. 函数产生器说明

- 电源按键压下为接通电源，再压一次则切断电源。

- 用频率范围按键选择适当频率范围。

- 数字显示屏显示频率。

- 用粗调节钮与细调节钮选择适当频率。

- 用波形选择最左按键选用方波。

- 用输出振幅调节钮，改变输出电压。

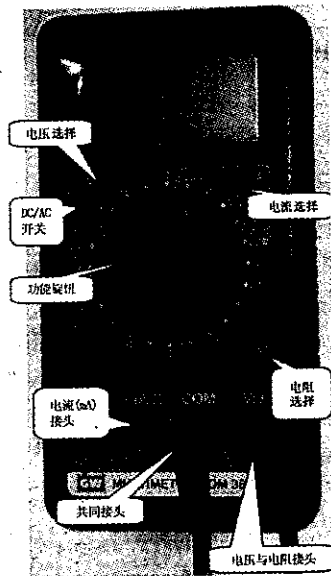


图2 多用电表

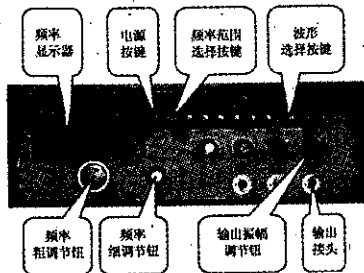


图3 函数产生器

[实验试题]

A 部分

激光二极管的光学特性

I. 简介

1. 激光二极管

本实验所用的光源为激光二极管,它所发出的激光波长为 650 nm.当二极管电流超过某一临界值时,激光二极管即能发出单色、部份偏振的相干光,这就是所谓的激光.当激光二极管的电流小于临界值时,发光强度很小;在临界值以上,发光强度随着电流增大而急剧增加,发光强度与电流大小变化成线性的关系;若电流持续增大,发光强度的增加率反而会趋缓,这是因为激光二极管本身温度增高所导致.因此,激光二极管的最佳工作范围是在线性的区段.通常,阈值电流 I_{th} 的大小,就规定为该线性区段的外推线与电流轴的交点值.

注意:请千万不要直接去看激光光束,那样会伤害你的眼睛!

2. 光探测器

本实验所用的光探测器是利用光电二极管串接电流放大器制成的.当在光电二极管上加上偏压时,此二极管受光照射即会产生光电流.在温度恒定,入射光为单色光的情况下,光电流与入射光强成正比.而电流放大器是用来以等比例的方式将光电流转换成电压而输出.本光探测器的转换比例有两种:一为高档放大;另一为低档放大.在本实验中全部使用低档放大.若入射光强太高,由于电流放大器本身的限制,输出电压即不再与光电流成比例增加,而会逐渐趋向于约 8 V 饱和值.所以,整个光探测器正常的工作范围,是在光强度确实与输出电压成比例的区段;若光强过大而使输出电压饱和,则光探测器的读数将不能正确表示入射光强度.

II. 实验步骤

激光二极管与光探测器的特性

为了使实验能成功进行,光束在实验装置各个部分的光路校准是非常关键的.此外光源与探测器也必须在适当条件下操作.A 部分即与这些问题及偏振程度有关.

1.如图4所示,将激光二极管与光探测器成一水平线放入光具座中,并如图5所示连接可变电阻、电池、电流表、电压表、激光二极管及光探测器,适当调整可变电阻值使经过激光二极管的电流大约为 25 mA,则二极管射出适当的激光.固定光探测器于低档放大,适当调整激光二极管及光探测器的高度及彼此相对的方向,以使激光束正好进入光探测器盒子上的小孔,且光探测器输出电压达到最大值,以确保彼此的光路是对准的.

注意:不要让电池上的黑、红两端彼此接触,已免造成短路!

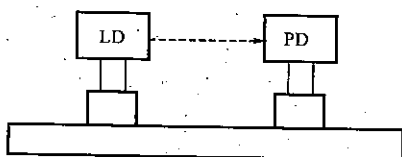


图4 光学装置(LD:激光二极管;PD:光探测器)

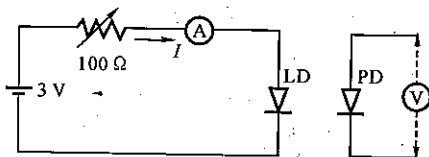


图5 串接激光二极管的等效电路

2.以光探测器的输出电压来代表激光的强度 J ,并适当调整可变电阻来改变激光二极管的电流大小 I ,由零值开始,直到最大电流为止,同时测量出 J 与 I 的关系,请注意适当调整所增加的电流间隔.

问题 A - (1)

测量、列表、并画出 $J - I$ 曲线.

问题 A - (2)

在 $J - I$ 曲线线性区域内估算最大电流 I_m 及其不确定度.用箭头(\downarrow)标示出线性范围,定出阈值电流 I_{th} ,并作详细的误差分析.

3. 选择激光二极管的电流为 $I_{th} + 2(I_m - I_{th})/3$ 作为工作点, 以确保激光二极管及光探测器均能正常工作。

4. 为 B 部分实验作准备: 在光具座上如图 6 所示, 将偏振片放置于近激光二极管处, 注意激光必须对准偏振片的中央部分. 调整偏振片使人射激光与偏振片的平面垂直. (提示: 你可以插入半透光纸作光屏, 检查入射光与反射光所产生之光点是否重叠, 以确保入射光垂直于偏振片.)

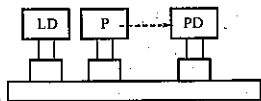


图 6 偏振片校准(P:偏振片)

5. 固定激光二极管的电流大小, 在光具座上放置第二片偏振片, 须确保适当的光路校准. 也就是将光源、探测器以及两偏振片置于一直线上, 并确定每一偏振片平面都与光束垂直。

B 部分 丝状液晶(Nematic LC)的光学性质与

90°TN-LC 盒的电-光开关特性

I. 简介

1. 液晶

液态晶体(简称液晶, LC)是一种介于固态结晶体与非晶形液态之间的物质. 其中丝状液晶系由长条形有机分子所构成, 这些分子的平均排列方向可以很容易排列成规则状, 同时亦可以通过施加电场, 来控制长条形液晶分子长轴的方向. 在大部分的液晶元件中, 均要求液晶分子的取向均匀且朝向预设的指向. 本实验所用之液晶盒(LC Cell)结构见图 7. 使用擦镜纸沿单一方向摩擦图 7 所示之 PI 导

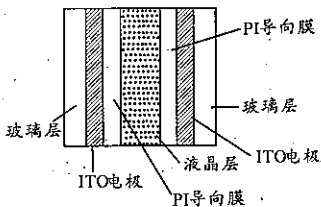


图 7 液晶盒结构

向膜, 可在 PI 膜表面形成排列整齐的沟纹, 它会令相邻的液晶长分子沿沟纹方向排列整齐, 并进而通过分子间的相互作用, 使其他液晶分子随之规则排列, 如此可获得均匀取向的丝状液晶膜. 局部的分子取向, 称为液晶在该点的主导方向(director).

液晶盒对光具有双折射现象, 也就是具有两种折射率. 当光线沿着分

子主导方向传播时,各种偏振分量以同一速率 $v_o = c/n_o$ 传播,其中 n_o 称为“寻常折射率”,该传播方向(主导方向)称为液晶胞的光轴.当光线沿着与光轴垂直方向传播时,则有两种传播速率.当偏振光的电场方向垂直于光轴时,光的传播速率仍为 $v_o = c/n_o$;但偏振光的电场方向平行于光轴时,光的传播速率则是 $v_e = c/n_e$,其中 n_e 称为“非常折射率”.“双折射量”(birefringence,即光的各向异性)定义为非常折射率与寻常折射率之差 $\Delta n \equiv n_e - n_o$.

2. 90° 扭转之丝状液晶盒(90°TN - LC)

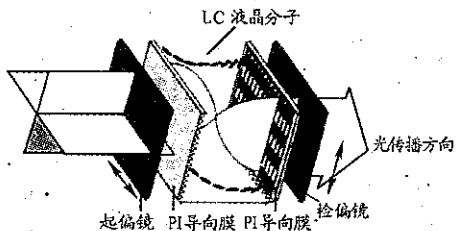


图 8 90°TN - LC 液晶分子配向扭转示意图

如图.8 所示的 90° 扭转丝状液晶盒,后方 PI 导向膜的 LC 主导方向,相对于前方 PI 导向膜的 LC 主导方向扭转了 90°.故液晶分子在液晶层中亦逐渐扭转了 90°.令前方 PI 导向膜的主导方向平行于起偏镜的透光轴.入射

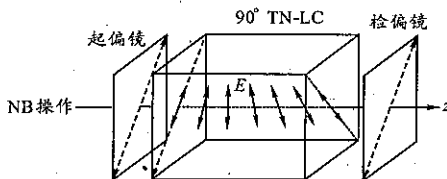


图 9 90°TN 盒的 NB 操作设定

的非偏振光经起偏镜后变成线偏振光.当此线偏振光穿过 90°TN - LC 时,其偏振方向会随着液晶分子长轴方向的扭转而扭转,使得透过 TN - LC 的光维持为线性偏振光,但其偏振方向已扭转 90°.由于入射偏振光的电场方

向始终维持与液晶分子长轴方向平行,故它显示为非常光,其折射率为 n_e 。(同理若入射偏振光的偏振方向始终维持与液晶分子长轴垂直,它也具有 90° 旋转的扭转效果,但它显示为寻常光,其折射率为 n_o 。)若检偏镜(第二个偏振片)的偏振方向设定为平行于起偏镜的偏振方向时(图 9),光就不能透过检偏镜。此种设定称为“正常黑”模式(Normally Black, 简称 NB)。但若在 TN 盒两边加电压 V ,且当 V 超过临界值 V_c 时,受外加电场作用,液晶分子的长轴方向会沿此外加电场方向作平行排列,这将渐渐破坏对偏振光偏振方向的引导扭转作用,光便会渐渐透过检偏镜。令 V_{10} 及 V_{90} 分别代表使透射光强度达到最大透射光强度的 10% 及 90% 时的外加电压值,则可定义“电 - 光开关斜率” γ 为

$$\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$$

II. 实验步骤

1. 将“ 90° TN - LC”设定在“正常黑”模式,放置于两个偏光方向互相平行的偏振片之间。使用函数产生器以 100 Hz 方波的方式加电压于液晶盒的两边的 ITO 电极上。将电压值 V_{rms} 由 0 逐步增至 7.2 V。

* 在关键点附近,必要时宜多取几组数据。

问题 B - (1)

对 NB 90° TN - LC 进行测量、列表、并画出电光关系特性曲线 (J 对 V_{rms} 的曲线), 求出开关斜率 γ ($\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$)。

问题 B - (2)

测定 NB 90° TN - LC 的临界电压 V_c 。利用图明确表示出你定出 V_c 值的方法。提示: 当外加电压超过临界电压后, 光透射率将急剧上升。

C 部分 丝状液晶的光学性质
 平行取向液晶盒的电 - 光开关特性

I. 简介

均匀平行取向液晶盒

均匀平行取向液晶盒是前PI导向膜与后PI导向膜的主导方向互相平行的液晶盒(图10).若经起偏镜入射的线偏振光,偏振方向平行于LC主导方向时,在液晶中光以非常光的方式前进,且光呈单一的(纯的)相位变化.

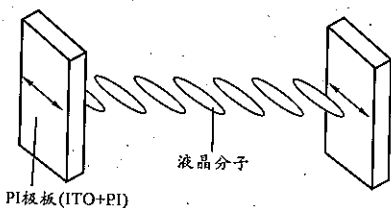


图10 均匀平行取向液晶盒

若入射偏振光和LC主导方向成 45° 夹角(见图11),则由于寻常光和非常光在LC中波速不同,导致这两种光间发生“相位推迟”.在此 $\theta = 45^\circ$,两偏振片的偏振方向相互平行的情况下,透过检偏镜之光的透射率(即透射光强度与入射液晶盒的光强之比)为

$$T_{//} = \cos^2 \frac{\delta}{2}$$

式中的“相位延迟” δ 可表示为

$$\delta = 2\pi d \Delta n(V, \lambda) / \lambda$$

式中 d 是液晶层的厚度, λ 是空气中光的波长, V 是交流电压的均方根值,而 $\Delta n = n_e - n_o$ 是液晶的双折射量, Δn 是 λ 与 V 的函数. Δn 与 δ 都是在 V 等于零时有最大值,此外 Δn 随 V 的增加而减少.

在一般的情况下,透射率可表示如下

$$T_{//} = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

$$T_{\perp} = \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$$

式中 $//$ 和 \perp 分别代表检偏镜的偏振方向平行和垂直于起偏镜的偏振方向的两种情况.

II. 实验步骤

1. 以均匀平行取向液晶盒取代 90°TN - 液晶盒.

2. 在 $V = 0$ 时, 设定 $\theta = 45^\circ$ (图 11). 实验时可在起偏镜与检偏镜的透光轴互相垂直时, 旋转液晶试片直到透射率达最大值 (T_{\perp}), 即可确定 $\theta = 45^\circ$. 记下 T_{\perp} , 再将起偏镜与检偏镜的透光轴调成平行并测量 T_{\parallel} (同样在外加电压 $V = 0$ 时), 以求得相位延迟 δ 及双折射量 Δn .

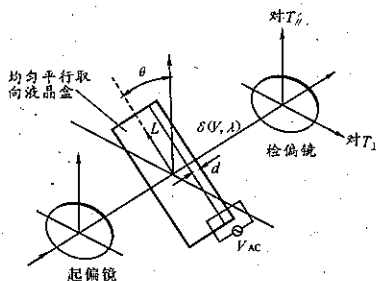


图 11 实验装置示意图(箭头 L 为主导方向)

问题 C - (1).

设已知激光的波长 $\lambda = 650 \text{ nm}$, 液晶层厚 $d = 7.7 \mu\text{m}$, $\Delta n \approx 0.25$; 由上面得到的 T_{\perp} 及 T_{\parallel} 之实验数据, 计算此液晶盒在 $V = 0$ 时, δ 及 Δn 的精确值.

3. 如上面之实验(1), 在 $\theta = 45^\circ$ 的设定下, 使用函数产生器以 100 Hz 方波, 加电压于均匀平行取向液晶试片两端的 ITO 电极上, 在起偏镜与检偏镜的透光方向调成平行时, 测量 T_{\parallel} 在外加电压 (V_{rms}) 从 0 到 7 V 之间的电 - 光开关曲线 (即 T_{\parallel} 对 V_{rms}).

(提示: 测量光透射率 T_{\perp} 开关曲线之结果, 可有助于测量 T_{\parallel} 时的准确性; T_{\perp} 的测量结果在回答下列问题时并不需要).

* 记住在关键点附近, 必要时应多取几组数据 (特别是在 $0.5 \sim 4.0 \text{ V}$ 之间时).

问题 C - (2)

在 $\theta = 45^\circ$ 配置下, 对平行取向液晶盒进行测量、表列并画出 T_{\parallel} 的电 - 光开关曲线.

问题 C - (3)

从电 - 光开关的数据中, 找出 $\delta = \pi$ 时的外加电压 V_π 值。
提示: V_π 是使相位延迟 $\delta = \pi(180^\circ)$ 时的外加电压。请记住 Δn 是外加电压的函数, 而且 Δn 随 V 的增大而减小。在决定 V_π 的准确数值时, 可考虑用外插法求解。

【实验题解答】

A 部分 激光二极管与光探测器

问题 A - (1)

a. 数据: 标有变量和单位的数据表格

表 A - (1) $J - I$ 数据

I/mA	9.2	15.2	19.5	21.6	22.2	22.7	23.0	23.4	23.8
J/V	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.12	0.30
I/mA	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4
J/V	0.66	1.02	1.41	1.88	2.23	2.64	3.04	3.36	3.78
I/mA	27.8	28.2	28.6	29.0	29.4	29.8	30.2	30.5	31.0
J/V	4.12	4.48	4.79	5.13	5.44	5.72	6.05	6.25	6.55
I/mA	31.4	31.8	32.2	32.6	33.0	33.4	33.8	34.2	34.6
J/V	6.75	6.99	7.22	7.40	7.60	7.78	7.93	8.07	8.14
I/mA	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.6	38.0	38.6	
J/V	8.18	8.20	8.22	8.24	8.24	8.25	8.26	8.27	

电流误差: $\pm 0.1 \text{ mA}$, 电压误差: $\pm 0.01 \text{ V}$

b. 画图: 选择与实验数据的范围和精度相符的横、纵坐标和单位

c. 曲线: 合适的数据和适当的线形

● 如图 A - 1 所示 开始 $\sim 0 \rightarrow$ 阈值 \rightarrow 线性 \rightarrow 饱和

问题 A - (2)

a. 标出图 A - 1 的线性区域

b. 用最小二乘法或用尺子目测进行误差分析

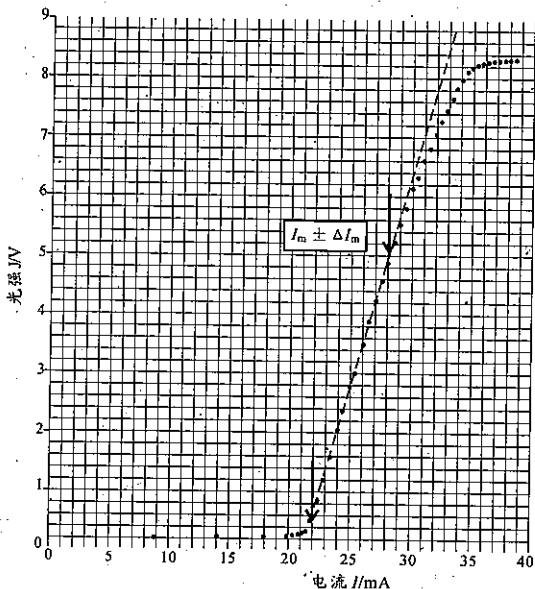


图 A-1 $J-I$ 关系图

最小二乘法拟合	用尺目测
图中误差 $0.0x$ mA	图中误差 $0. x$ mA
最小二乘法方法	放大刻度图
误差分析	画出 3 条曲线作误差分析

c. $I_m \pm \Delta I_m$: 从 $J-I$ 曲线线性区域得到适当的 I_m 数据和误差 ($\pm \Delta I_m$)

d. 适当的 I_{th} 值及误差

$$I_{th} = [(21 \sim 26) \pm (0.01 \text{ 或 } 0.2)] \text{ mA}$$

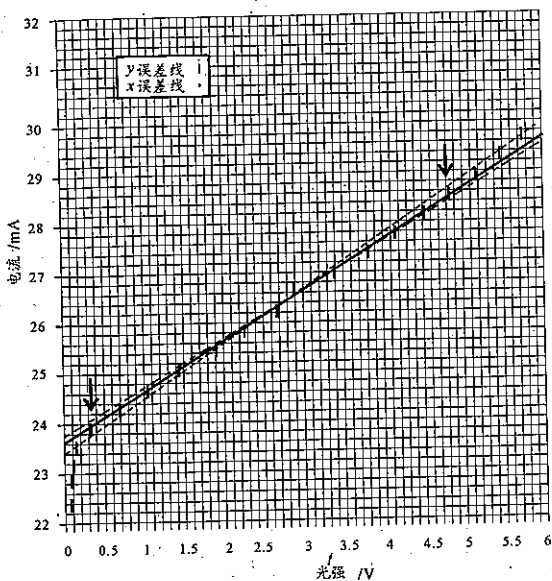


图 A-2 直线和外推

附录

⊙A1-1

● 最小二乘法:

$$I = mJ + b \rightarrow b = I_{0b}$$

对 $y = mx + b$

	$y: I/\text{mA}$	$x: J$	xy	x^2	$y(x) = mx + b$	$[y - y(x)]^2$
1	23.8	0.3	7.14	0.09	23.7937	3.969E-05
2	24.2	0.66	15.972	0.4356	24.17134	0.000821
3	24.6	1.02	25.092	1.0404	24.54898	0.00260
4	25	1.41	35.25	1.9891	24.95809	0.00176
5	25.4	1.88	47.752	3.5344	25.45112	0.00261
6	25.8	2.23	57.534	4.9729	25.81827	0.000334
7	26.2	2.64	69.168	6.9696	26.24836	0.00234
8	26.6	3.04	80.864	9.2416	26.66796	0.00462

续表

	$y: I/\text{mA}$	$x: J$	xy	x^2	$y(x) = mx + b$	$[y - y(x)]^2$
9	27	3.36	90.72	11.289 6	27.003 64	1.325E - 05
10	27.4	3.78	103.572	14.288 4	27.444 22	0.001 96
11	27.8	4.12	114.536	16.974 4	27.800 88	7.733E - 07
12	28.2	4.48	126.336	20.070 4	28.178 52	0.000 461
13	28.6	4.79	136.994	22.944 1	28.503 71	0.009 27
	$\sum y =$	$\sum x =$	$\sum xy =$	$\sum x^2 =$		$\sum [y - y(x)]^2$
	340.6	33.71	910.93	113.840		= 0.026 8

$$\Delta = N \sum x^2 - (\sum x)^2 = 13(113.840) - (33.71)^2 = 343.556$$

$$m = \frac{1}{\Delta} (N \sum xy - \sum x \sum y) = \frac{13(910.93) - (33.71)(340.6)}{343.556} = 1.049$$

$$b = \frac{1}{\Delta} (\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy) = \frac{(113.840)(340.6) - (33.71)(910.93)}{343.556} = 23.479$$

$$\sigma_y = \frac{1}{N-2} \sqrt{\sum [y - y(x)]^2} = \frac{1}{13-2} \sqrt{0.0268} = 0.015$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_y)^2 + \left(\frac{dy}{dx} \sigma_x\right)^2} = \sqrt{(0.015)^2 + (1.049 \times 0.005)^2} = 0.016$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{N \sigma^2}{\Delta}} = \sqrt{\frac{13 \times 0.016^2}{343.556}} = 0.003 1$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\Delta} \sum x^2} = 0.016 \times \sqrt{\frac{113.840}{343.556}} = 0.009 2$$

$$I_{th} = (23.48 \pm 0.01) \text{ mA}$$

◎A1 - 2

● 目测:

$$I = mJ + b \rightarrow b = I_{th}$$

$$\text{对 } y = mx + b$$

$$\text{直线 1: } y = 1.00x + 23.66$$

$$\text{直线 2: } y = 1.05x + 23.48$$

直线 3: $y = 1.13x + 23.31$

$I_{th}(\text{平均}) = 23.48 \text{ mA}$

$\Delta I_{th} = 0.18 \text{ mA}$

$I_{th} = (23.5 \pm 0.2) \text{ mA}$

B 部分 丝状液盒的光学性质 90°TN - LC 盒的电 - 光开关特性

问题 B - (1)

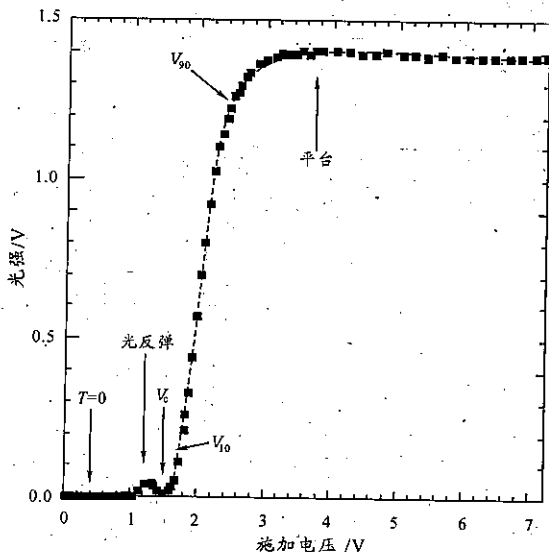
a. 标有变量和单位的数据表格

所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V
0.00	0.00	1.78	0.21	3.41	1.39
0.10	0.00	1.81	0.26	3.50	1.40
0.20	0.00	1.85	0.33	3.60	1.39
0.30	0.00	1.90	0.44	3.70	1.40
0.40	0.00	1.96	0.57	3.80	1.40
0.50	0.00	2.03	0.70	4.03	1.40
0.60	0.00	2.08	0.80	4.22	1.40
0.70	0.00	2.15	0.92	4.40	1.39
0.80	0.00	2.21	1.02	4.61	1.39
0.90	0.00	2.28	1.10	4.78	1.40
1.00	0.00	2.33	1.14	5.03	1.39
1.10	0.02	2.39	1.19	5.20	1.39
1.20	0.04	2.44	1.22	5.39	1.38
1.24	0.04	2.50	1.26	5.61	1.39
1.30	0.04	2.55	1.27	5.81	1.38
1.34	0.03	2.60	1.29	6.02	1.38
1.38	0.02	2.67	1.32	6.21	1.38
1.45	0.01	2.72	1.33	6.40	1.38
1.48	0.01	2.85	1.36	6.63	1.38
1.55	0.02	2.97	1.37	6.80	1.38
1.59	0.03	3.11	1.38	7.02	1.38
1.64	0.05	3.20	1.39	7.20	1.38
1.71	0.11	3.32	1.39		

b. 根据实验的范围和精度选择横坐标和纵坐标的合适的刻度和单位

c. 测量并画出光强随所加电压变化的 $J - V_{rms}$ 曲线

- 在正常黑模式下透射光强小于 0.05 V
- 在外加电压达到临界值前有一小的光反弹
- 当外加电压超过临界值后透射光强急剧增大
- 当外加电压超过 3 V 后透射光强出现平台区



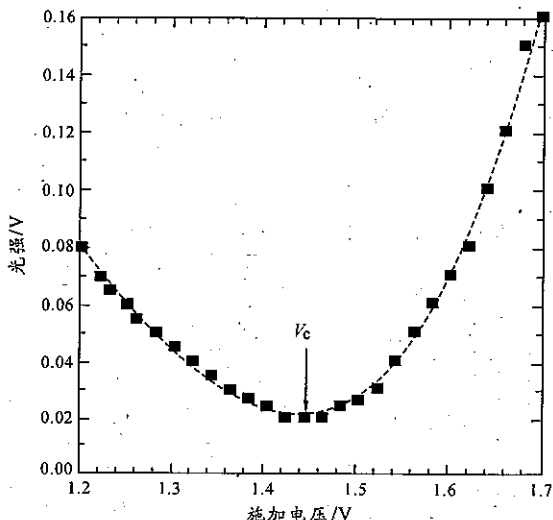
d. γ 值及误差

- 在所加电压 3.0 ~ 7.2 V 之间找出光强的最大值
- 定出最大光强的 90% 数值, 利用内插法得出所加电压的 V_{90} 值
- 定出最大光强的 10% 数值, 利用内插法得出所加电压的 V_{10} 值
- 正确的 $\gamma \pm \Delta\gamma$ 值, $(0.42 \sim 0.44) \pm 0.02$

问题 B - (2)

a. V_c 值及误差, $V_c \pm \Delta V_c$.

- 放大刻度画图并且在 V_c 区附近多取些测量数据点
- 定出当透射光强急剧增大时的 V_c 值
- 正确的 $V_c \pm \Delta V_c$ 数据, $[(1.20 \sim 1.50) \pm 0.01] V$



此图的数据与第 200 页上的数据并不是一一对应的. 此图仅展示了如何得出 V_c .

C 部分 丝状液晶的光学性质 均匀平行取向液晶盒的电 - 光开关特性
问题 C - (1)

a. δ 和 Δn 值及误差

- 获取 $T_{//}$ 值并取平均
- 定出级数 m 值
- 正确的 δ 值, 15.7 ~ 18.2
- 正确的 Δn 值, 0.20 ~ 0.24

$$T_{//} = \frac{0.31 + 0.31 + 0.31}{3} \text{ V} = (0.31 \pm 0.01) \text{ V}$$

$$T_{\perp} = \frac{1.04 + 1.03 + 1.04}{3} \text{ V} = (1.04 \pm 0.01) \text{ V}$$

$$\tan \frac{\delta}{2} = \pm \frac{\sqrt{T_{\perp}}}{\sqrt{T_{//}}} = -1.83^* \text{ 得 } \delta = 4.14 + 2m\pi \text{ (或 } -2.14 + 2m\pi)$$

$$\delta = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda} = \frac{2\pi \times 7.7 \times 0.25}{0.65} = 18.61$$

取 $m = 2$ (或 3) 得 $\delta = 16.70(5.32\pi)$

由 $\delta = \frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}$ 得 $\Delta n = \frac{\delta \lambda}{2\pi d} = 0.22$

允许值: $\Delta n = (0.20 \sim 0.24)$

* 如果 $\tan \frac{\delta}{2} = 1.83$, 则 δ 值可以是 4.68π 或 6.68π , 与问题 C - (2) 的数据图不相符。

问题 C - (2)

a. 标有变量和单位的数据表格

所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V
0.00	0.30	1.47	0.29	2.25	1.27
0.10	0.30	1.50	0.13	2.28	1.20
0.20	0.29	1.53	0.06	2.31	1.14
0.30	0.29	1.59	0.03	2.34	1.07
0.40	0.29	1.62	0.05	2.37	1.00
0.50	0.28	1.65	0.15	2.40	0.94
0.60	0.26	1.68	0.24	2.43	0.87
0.70	0.23	1.71	0.34	2.46	0.79
0.80	0.19	1.74	0.49	2.49	0.72
0.90	0.09	1.77	0.63	2.52	0.66
0.99	0.00	1.80	0.78	2.55	0.61
1.02	0.06	1.83	0.92	2.58	0.56
1.05	0.16	1.86	1.05	2.61	0.51
1.08	0.25	1.89	1.19	2.64	0.46
1.11	0.40	1.92	1.27	2.57	0.42
1.14	0.67	1.95	1.34	2.70	0.37
1.17	0.93	1.98	1.40	2.73	0.33
1.20	1.25	2.01	1.47	2.76	0.30
1.26	1.31	2.04	1.48	2.79	0.26
1.29	1.36	2.07	1.48	2.82	0.23
1.32	1.32	2.10	1.48	2.85	0.21
1.35	1.09	2.13	1.45	2.88	0.18
1.38	0.85	2.16	1.42	2.91	0.16
1.41	0.62	2.19	1.38	2.94	0.14
1.44	0.46	2.22	1.33	2.97	0.12

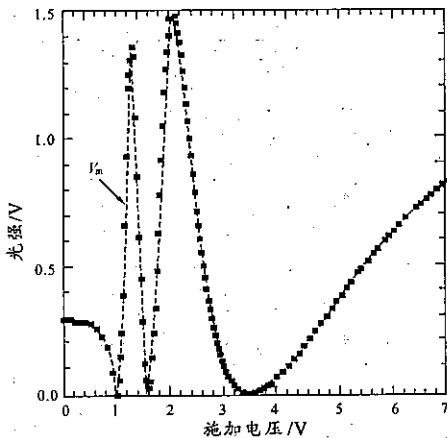
续表

所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V	所加电压 /V	光强 /V
3.00	0.09	3.70	0.02	5.39	0.44
3.06	0.08	3.80	0.03	5.51	0.48
3.09	0.06	3.90	0.04	5.57	0.49
3.12	0.05	4.00	0.07	5.70	0.52
3.18	0.04	4.10	0.09	5.80	0.55
3.21	0.03	4.20	0.11	5.90	0.57
3.24	0.02	4.30	0.14	6.01	0.60
3.27	0.02	4.40	0.16	6.10	0.62
3.30	0.01	4.50	0.19	6.19	0.64
3.33	0.00	4.60	0.22	6.30	0.66
3.36	0.00	4.70	0.25	6.40	0.69
3.39	0.00	4.80	0.28	6.60	0.73
3.42	0.00	4.90	0.31	6.70	0.74
3.45	0.00	5.01	0.34	6.80	0.76
3.48	0.00	5.11	0.37	7.00	0.80
3.51	0.00	5.21	0.39	7.20	0.83
3.60	0.01	5.29	0.42		

b. 根据实验的范围和精度选择横、纵坐标的合适刻度和单位

c. 测量 $T_{//}$ 随所加电压变化并画出 $T_{//} - V_{\text{rms}}$ 曲线

- 3 个极小值和 2 个尖锐的光的极大值
- 2 极大值间相差小于 15%
- 极小值的数值小于 0.1 V



问题 C - (3)

V_{π} 的值及误差

- 放大刻度画图, V_{π} 区附近取更多数据
- 标出正确的 V_{π} 值
- 利用内插法或四舍五入法, 则得出 V_{π} 的值
- 正确的 V_{π} 值: $[(3.2 \sim 3.5) \pm 0.01] \text{ V}$

