

全国中学生 物理 2012 竞赛专辑

全国中学生物理竞赛委员会办公室 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国中学生物理竞赛专辑 2012

全国中学生物理竞赛委员会办公室 编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

全国中学生物理竞赛专辑·2012/全国中学生物理竞赛委员会办公室编. —北京:北京大学出版社,2012.5

ISBN 978-7-301-20555-6

I. ①全… II. ①全… III. ①中学物理课—竞赛题 IV. ①G634.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 076654 号

书 名: 全国中学生物理竞赛专辑·2012

著作责任者: 全国中学生物理竞赛委员会办公室 编

责任编辑: 王剑飞 顾卫宇

封面设计: 张虹

标准书号: ISBN 978-7-301-20555-6/O·0870

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765014 出版部 62754962

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 222 千字

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:(010)62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

目 录

第一部分 全国中学生物理竞赛章程和内容提要

全国中学生物理竞赛章程	(3)
第一章 总则	(3)
第二章 组织领导	(3)
第三章 竞赛程序	(4)
第四章 命题原则	(5)
第五章 奖励办法	(5)
第六章 守则和纪律、监督、惩罚	(5)
第七章 经费	(6)
第八章 附则	(6)
全国中学生物理竞赛内容提要(2005年1月修订,2006年开始实行)	(7)
一、理论基础	(7)
二、实验	(11)
三、其他方面	(12)
附:关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定	(13)
指定参考书	(14)
参考资料	(14)
全国中学生物理竞赛内容提要(2011年11月修订,2013年开始实行)	(15)
一、理论基础	(15)
二、实验	(20)
三、其他方面	(22)
附:关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定	(22)
指定参考书	(23)
参考资料	(24)

第二部分 第28届全国中学生物理竞赛专题

在第28届全国中学生物理竞赛颁奖大会暨闭幕式上的讲话(一)	(27)
在第28届全国中学生物理竞赛颁奖大会暨闭幕式上的讲话(二)	(29)
在第28届全国中学生物理竞赛颁奖大会暨闭幕式上的讲话(三)	(31)
在第28届全国中学生物理竞赛颁奖大会暨闭幕式上的讲话(四)	(32)

第 28 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 28 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)
复赛试题及参考解答·····	(47)
决赛试题及参考解答·····	(64)
附录一 历届全国中学生物理竞赛及我国参加的国际物理奥林匹克 竞赛基本情况·····	(88)
附录二 第 42 届国际奥林匹克物理竞赛试题·····	(90)
附录三 第 12 届亚洲奥林匹克物理竞赛试题·····	(105)

全国中学生物理竞赛章程

中国物理学会教育委员会

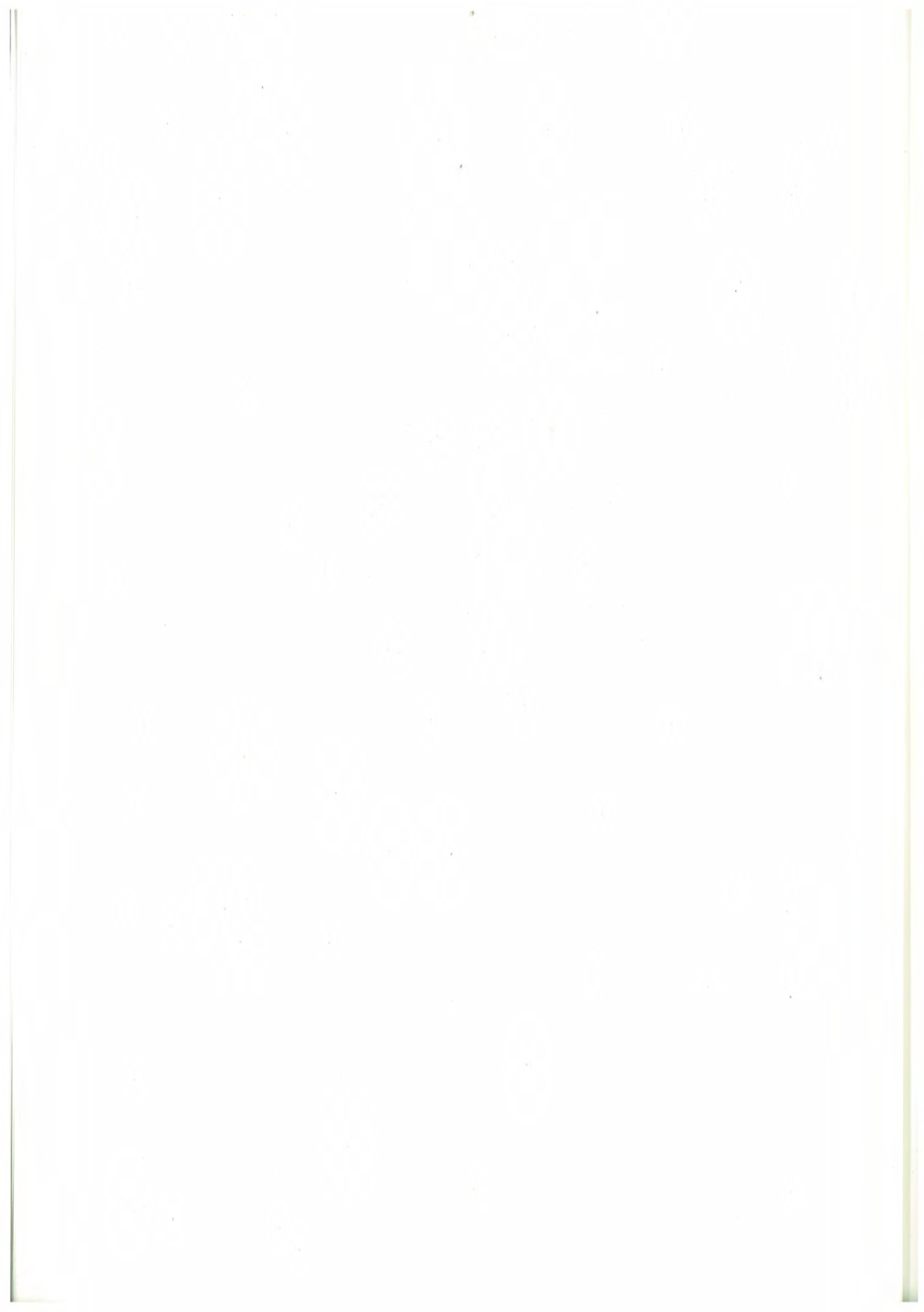
(1981年2月12日制定, 2004年11月30日修订)

第一章 总 则

第一部分

全国中学生物理竞赛 章程和内容提要

第二章 组织领导



全国中学生物理竞赛章程

中国物理学会常务理事會

(1991年2月12日制定,2004年11月30日修订)

第一章 总 则

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

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

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

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

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

第二章 组织领导

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

全国竞委会委员任期一年,产生办法如下:

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

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

全国竞委会在决赛期间召开全体会议,研究和讨论与本届和下届竞赛有关事宜,交流组织

竞赛活动的经验,提出意见和建议;审议通过决赛获奖学生名单。

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

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

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

办公室负责处理有关竞赛的日常事务。

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

组委会工作接受常委会指导。

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

地方竞委会的工作受全国竞委会的指导和监督。

第三章 竞赛程序

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

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

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

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

承办决赛的省(自治区、直辖市)参加决赛的名额可增加3名。

若参加决赛的最后一个名额有两名以上的学生总成绩相同,则地方竞委会应根据他们的理论成绩高低择优确定一名;若理论成绩最高的学生有两名以上也相同,则地方竞委会可对这部分学生以笔试的形式进行加试,选取成绩最好的1名。

决赛由全国中学生物理竞赛命题组命题和制定评分标准,决赛包括理论和实验两部分。竞

赛时间各 3 小时. 理论满分为 140 分, 实验满分为 60 分. 由组委会聘请高校教师阅卷评分.

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

第四章 命题原则

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

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

第五章 奖励办法

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

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

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

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

对获奖学生的奖励要有利于学生的健康成长.

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

第六章 守则和纪律、监督、惩罚

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

第七章 经 费

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

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

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

第二十一条 决赛活动所需经费由组委会负责筹措,全国竞委会给予适当补助。

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

第八章 附 则

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

全国中学生物理竞赛内容提要

(2005年1月修订,2006年开始实行)

说明 按照中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会第9次全体会议的建議,由中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会常务委员会根据《全国中学生物理竞赛章程》中关于命题原则的规定,结合我国目前中学生的实际情况,制定了《全国中学生物理竞赛内容提要》,作为今后物理竞赛预赛、复赛和决赛命题的依据。它包括理论基础、实验、其他方面等部分。1991年2月20日经全国中学生物理竞赛委员会常务委员会扩大会议讨论通过并开始试行,1991年9月11日在南宁由全国中学生物理竞赛委员会第10次全体会议正式通过,开始实施。

经2000年第19次竞委会原则同意,对《全国中学生物理竞赛内容提要》做适当的调整和补充。考虑到适当控制预赛试题难度的精神,《内容提要》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。

2005年1月,常委会对《全国中学生物理竞赛内容提要》中理论基础部分做了少量修改和补充,修改后的《全国中学生物理竞赛内容提要》从2006年开始实行。

2005年,中国物理学会常务理事会对《全国中学生物理竞赛章程》进行了修订。依据修订后的章程,决定由全国中学生物理竞赛委员会常务委员会组织编写《全国中学生物理竞赛实验指导书》,作为复赛实验考试题目的范围。

一、理论基础

力 学

1. 运动学:

参照系,质点运动的位移和路程、速度、加速度,相对速度;

矢量和标量,矢量的合成和分解,※矢量的标积和矢积;

匀速及匀变速直线运动及其图像,运动的合成,抛体运动,圆周运动;

刚体的平动和绕定轴的转动。

2. 牛顿运动定律,力学中常见的几种力:

牛顿第一、二、三运动定律,惯性参照系的概念;

摩擦力;

弹性力,胡克定律;

万有引力定律,均匀球壳对壳内和壳外质点的引力公式(不要求导出),开普勒定律,行星和人造卫星运动;

※惯性力的概念。

3. 物体的平衡:

共点力作用下物体的平衡;

力矩,刚体的平衡条件,重心;

物体平衡的种类.

4. 动量:

冲量, 动量, 质点与质点组的动量定理, 动量守恒定律, ※质心, ※质心运动定理;

反冲运动及火箭.

5. ※冲量矩, ※角动量, ※质点和质点组的角动量定理(不引入转动惯量), ※角动量守恒定律.

6. 机械能:

功和功率;

动能和动能定理;

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

功能原理, 机械能守恒定律;

碰撞, 恢复系数.

7. 流体静力学:

静止流体中的压强;

浮力.

8. 振动:

简谐振动 $x = A\cos(\omega t + \alpha)$, 振幅, 频率和周期, 相位;

振动的图像;

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

由动力学方程确定简谐振动的频率, 简谐振动的能量;

同方向同频率简谐振动的合成;

阻尼振动, 受迫振动和共振(定性了解).

9. 波和声:

横波和纵波, 波长、频率和波速的关系, 波的图像, 平面简谐波的表示式 $y = A\cos\omega(t - x/v)$;

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:

原子和分子的数量级;

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:

熔化和凝固,熔点,熔化热;

蒸发和凝结,饱和气压,沸腾和沸点,汽化热,临界温度;

固体的升华;

空气的湿度和湿度计,露点。

8. 热传递的方式:

传导、对流和辐射。

9. 热膨胀:

热膨胀和膨胀系数。

电 学

1. 静电场:

库仑定律,电荷守恒定律;

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

电场中的导体,静电屏蔽;

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

电容,电容器的连接,平行板电容器的电容公式(不要求导出);

电容器充电后的电能;

电介质的极化,介电常量。

2. 稳恒电流:

欧姆定律,电阻率和温度的关系;

电功和电功率;

电阻的串、并联;

电动势,闭合电路的欧姆定律;

一段含源电路的欧姆定律,※基尔霍夫定律;

电流表,电压表,欧姆表;

惠斯通电桥,补偿电路.

3. 物质的导电性:

金属中的电流,欧姆定律的微观解释;

液体中的电流,法拉第电解定律;

气体中的电流,被激放电和自激放电(定性);

真空中的电流,示波器;

半导体的导电特性,p型半导体和n型半导体;

晶体二极管的单向导电性,三极管的放大作用(不要求机理);

超导现象.

4. 磁场:

电流的磁场,磁感应强度,磁感线,匀强磁场,长直导线中的电流的磁场;

安培力,洛伦兹力,电子荷质比的测定,质谱仪,回旋加速器.

5. 电磁感应:

法拉第电磁感应定律;

楞次定律,※感应电场(涡旋电场);

自感;

互感和变压器.

6. 交流电:

交流发电机原理,交流电的最大值和有效值;

纯电阻、纯电感、纯电容电路;

整流、滤波和稳压;

三相交流电及其连接法,感应电动机原理.

7. 电磁振荡和电磁波:

电磁振荡,振荡电路及振荡频率;

电磁场和电磁波,电磁波的波速,赫兹实验;

电磁波的发射和调制,电磁波的接收、调谐、检波.

光 学

1. 几何光学:

光的直进、反射、折射,全反射;

光的色散,折射率与光速的关系;

平面镜成像,球面镜成像公式及作图法;

薄透镜成像公式及作图法;

眼睛,放大镜,显微镜,望远镜.

2. 波动光学:

光程;

光的干涉和衍射,双缝干涉,单缝衍射;

光谱和光谱分析,电磁波谱.

近代物理

1. 光的本性:

光电效应,爱因斯坦方程;

光的波粒二象性,光子的能量与动量.

2. 原子结构:

卢瑟福实验,原子的核式结构;

玻尔模型,用玻尔模型解释氢光谱,玻尔模型的局限性;

原子的受激辐射,激光.

3. 原子核:

原子核的量级;

天然放射现象,放射线的探测;

质子的发现,中子的发现,原子核的组成;

核反应方程;

质能方程,裂变和聚变;

“基本”粒子,*夸克模型.

4. *不确定关系,*实物粒子的波粒二象性.

5. *狭义相对论:

爱因斯坦假设,时间和长度的相对论效应;

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

6. *太阳系,银河系,宇宙和黑洞的初步知识.

数学基础

1. 中学阶段全部初等数学(包括解析几何).

2. 矢量的合成和分解,极限、无限大和无限小的初步概念.

3. 不要求用微积分进行推导或运算.

二、实 验

全国中学生物理竞赛常委会组织编写的《全国中学生物理竞赛实验指导书》中的 34 个实验是全国中学生物理竞赛复赛实验考试内容的范围.这 34 个实验的名称是:

实验一 实验误差;

实验二 气轨上研究瞬时速度;

实验三 杨氏模量;

实验四 用单摆测重力加速度;

实验五 气轨上研究碰撞过程中动量和能量变化;

实验六 测量声速;

- 实验七 弦线上的驻波实验；
- 实验八 冰的熔化热；
- 实验九 线膨胀率；
- 实验十 液体比热容；
- 实验十一 数字万用电表的使用；
- 实验十二 制流和分压电路；
- 实验十三 测定直流电源的参数并研究其输出特性；
- 实验十四 磁电式直流电表的改装；
- 实验十五 用量程为 200 mV 的数字电压表组成多量程的电压表和电流表；
- 实验十六 测量非线性元件的伏安特性；
- 实验十七 平衡电桥测电阻；
- 实验十八 示波器的使用；
- 实验十九 观测电容特性；
- 实验二十 检测黑盒子中的电学元件(电阻,电容,电池,二极管)；
- 实验二十一 测量温度传感器的温度特性；
- 实验二十二 测量热敏电阻的温度特性；
- 实验二十三 用霍尔效应测量磁场；
- 实验二十四 测量光敏电阻的光电特性(有、无光照时的伏安特性;光电特性)；
- 实验二十五 研究光电池的光电特性；
- 实验二十六 测量发光二极管的光电特性(用 $eU_{\text{固}} = hc/\lambda$ 估算发光波长)；
- 实验二十七 研究亥姆霍兹线圈轴线磁场的分布；
- 实验二十八 测定玻璃的折射率；
- 实验二十九 测量薄透镜的焦距；
- 实验三十 望远镜和显微镜；
- 实验三十一 光的干涉现象；
- 实验三十二 光的夫琅禾费衍射；
- 实验三十三 分光计的使用与极限法测折射率；
- 实验三十四 光谱的观测。

各省(自治区、直辖市)竞赛委员会根据本省的实际从《全国中学生物理竞赛实验指导书》的 34 个实验中确定并公布不少于 20 个实验作为本省(自治区、直辖市)物理竞赛复赛实验考试的内容范围,复赛实验的试题从公布的实验中选定,具体做法见《关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定》。

全国中学生物理竞赛决赛实验以本《内容提要》中的“理论基础”和《全国中学生物理竞赛实验指导书》作为命题的基础。

三、其他方面

物理竞赛的内容有一部分有较大的开阔性,主要包括以下三方面:

1. 物理知识在各方面的应用;对自然界、生产和日常生活中一些物理现象的解释。

2. 近代物理的一些重大成果和现代的一些重大信息。
3. 一些有重要贡献的物理学家的姓名和他们的主要贡献。

附：关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定

(2005年)

为了使更多的地区、更多的优秀学生的物理实验水平和素养有较大的提高,为了让更多的优秀学生有机会参加实验培训,为了使复赛实验考试更加公正、公平,增加透明度,特制定以下规定。各省(自治区、直辖市)竞赛委员会必须严格按照本规定组织本省有关复赛实验的活动。

一、全国中学生物理竞赛委员会常务委员会(以下简称常委会)组织编写的《全国中学生物理竞赛实验指导书》(以下简称《实验指导书》)中的34个实验是全国中学生物理竞赛复赛实验考试的内容范围。各省(自治区、直辖市)竞赛委员会要会同本省有关专家和高等学校结合本省实际情况,从这34个实验中确定全部或部分实验,作为本省(自治区、直辖市)复赛实验考试的范围。确定的实验数不得少于20个,其中必须包括实验一“实验误差”、实验十一“数字万用表的使用”、实验十二“制流和分压电路”、实验十八“示波器的使用”这四个基本实验。有的实验中含有“设计实验”,这部分实验要求属于决赛的实验考试要求,复赛实验考试不涉及这部分实验。本省确定的复赛实验考试内容范围必须向本省准备参加物理竞赛的全体考生公布,公布的时间不得晚于复赛考试前6个月。各省的复赛实验试题必须从本省公布的实验中选定。

二、各省(自治区、直辖市)的竞赛委员会要在省(自治区、直辖市)物理学会的领导下与本省(自治区、直辖市)有关高校协商设立物理竞赛实验培训点和组织本省(自治区、直辖市)的实验培训工作。培训点可设在省(自治区、直辖市)、市两级的高等学校。培训点要根据《实验指导书》的要求对学生进行培训,着眼于提高学生的实验水平和实验素养。

三、各省(自治区、直辖市)要建立本省(自治区、直辖市)物理竞赛复赛实验命题小组。命题小组由2~4位物理实验业务水平较高、教学经验比较丰富、作风正派的高等学校教师组成。命题小组的成员在当年不得参加复赛前的任何物理竞赛实验的辅导和培训工作,并且他们的身份是保密的。省(自治区、直辖市)竞赛委员会要与命题小组一起研究确定本省(自治区、直辖市)复赛实验考场所在的高校。确定为实验考场的高校,应具有能解决本省(自治区、直辖市)公布的所有实验所需的器材和实验室条件。为了有利于考试的公平性,被指定为实验考场的高校在复赛实验考试前最好不安排与物理竞赛有关的实验培训任务。如果省(自治区、直辖市)竞赛委员会因这种或那种原因难以做到上述要求,而对考场所在的高校,在复赛实验考试前也安排了物理竞赛实验培训任务,则应做出相应的细致规定,防止因考场和培训设在同一所高校而可能带来的某些不良影响,以确保实验考试的公正与公平。请各省(自治区、直辖市)竞赛委员会结合本省(自治区、直辖市)的实际情况自己决定。各省(自治区、直辖市)公布的复赛实验考试内容的范围、确定为复赛实验考场的高校,都要报全国中学生物理竞赛办公室备案。

四、复赛实验命题小组的主要任务:

1. 从本省(自治区、直辖市)公布的“复赛实验考试内容范围”中选定两个实验作为本省(自治区、直辖市)复赛实验考题的内容。各省(自治区、直辖市)都必须公布的四个基本实验不单独作为实验考试题目,这四个基本实验内容的考查将体现在其他有关实验之中。

2. 根据选定作为试题内容的两个实验和《实验指导书》对这两个实验的要求,编制本省

(自治区、直辖市)复赛实验考试的试卷,试卷一般应包括以下内容:

(1) 实验名称.作为考题的实验名称可以与《实验指导书》中的该实验名称相同,亦可在行文上做些修改,使之符合试题的语气.

(2) 实验要求和实验内容.

(3) 实验所用的器材名称和必要的仪器描述.

复赛实验考试的要求,实验原理、实验内容,所用的器材都不得超出《实验指导书》中关于该实验的规定.

3. 制定复赛实验考试评分标准.

复赛实验根据考生的书面答卷进行评分,要求考生写在卷面的内容应在“实验要求”和“考试内容”中向考生交代清楚.

4. 准备实验器材、保证器材的完好性能.

5. 组织阅卷、评分、查分工作.

全国中学生物理竞赛委员会常务委员会

2005年12月22日

指定参考书

1. 全国中学生物理竞赛办公室,编.全国中学生物理竞赛参考资料.北京:北京教育出版社,1985—2002;全国中学生物理竞赛专辑.北京:北京教育出版社,2003—2007;北京:北京大学出版社,2008—2012.

2. 沈克琦.高中物理学 1.北京:北京出版社,1997;高中物理学 2.北京:北京出版社,1998;高中物理学 3.北京:北京出版社,1998;高中物理学 4.北京:北京出版社,1999.

3. 全国中学生物理竞赛常务委员会,组织编写.全国中学生物理竞赛实验指导书.北京:北京大学出版社,2006.

参考资料

1. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:力学分册.北京:清华大学出版社,2005.

2. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:电学分册.北京:清华大学出版社,2005.

3. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:热学、光学与近代物理分册.北京:清华大学出版社,2006.

4. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:实验分册.北京:清华大学出版社,2008.

全国中学生物理竞赛内容提要

(2011年11月修订,2013年开始实行)

说明 按照中国物理学会全国中学生物理竞赛委员会第9次全体会议(1990年)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,结合我国中学生的实际情况,制定了《全国中学生物理竞赛内容提要》,作为今后物理竞赛预赛、复赛和决赛命题的依据。它包括理论基础、实验、其他方面等部分。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日在南宁经全国中学生物理竞赛委员会第10次全体会议通过,开始实施。

经2000年全国中学生物理竞赛委员会第19次全体会议原则同意,对《全国中学生物理竞赛内容提要》做适当的调整和补充。考虑到适当控制预赛试题难度的精神,《全国中学生物理竞赛内容提要》中新补充的内容用“※”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《全国中学生物理竞赛内容提要》,不增加修改补充后的内容。

2005年,中国物理学会常务理事会对《全国中学生物理竞赛章程》进行了修订。依据修订后的《全国中学生物理竞赛章程》,决定由全国中学生物理竞赛委员会常务委员会组织编写《全国中学生物理竞赛实验指导书》,作为复赛实验考试题目的命题范围。

2011年对《全国中学生物理竞赛内容提要》进行了修订,修订稿经全国中学生物理竞赛委员会第30次全体会议通过,并决定从2013年开始实行。修订后的《全国中学生物理竞赛内容提要》中,凡用“※”号标出的内容,仅限于复赛和决赛。

一、理论基础

力 学

1. 运动学:

参考系;

坐标系,直角坐标系,※平面极坐标;

质点运动的位移和路程、速度、加速度;

矢量和标量,矢量的合成和分解,※矢量的标积和矢积;

匀速及匀变速直线运动及其图像;

运动的合成,抛体运动,圆周运动,圆周运动中的切向加速度和法向加速度,※任意曲线运动中的切向加速度和法向加速度,曲率半径;

相对运动,伽利略速度变换;

刚体的平动和绕定轴的转动,角速度和角加速度。

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,惯性参考系;

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);

※非惯性参考系,※平动加速参考系中的惯性力,※匀速转动参考系中的惯性离心力,视重.

3. 物体的平衡:

共点力作用下物体的平衡;

力矩,刚体的平衡条件,重心;

物体平衡的种类.

4. 动量:

冲量,动量,质点与质点组的动量定理,动量守恒定律;

※质心,※质心运动定理;

反冲运动及火箭.

5. ※角动量:

※冲量矩,※角动量,※质点和质点组的角动量定理(不引入转动惯量),※角动量守恒定律.

6. 机械能:

功和功率;

动能和动能定理;

重力势能,引力势能,质点及均匀球壳壳内和壳外的引力势能公式(不要求导出);

弹簧的弹性势能;

功能原理,机械能守恒定律;

碰撞,恢复系数.

7. 天体运动:

在万有引力作用下物体的运动,开普勒定律,行星和人造天体的圆轨道和椭圆轨道运动.

8. 流体静力学:

静止流体中的压强;

浮力.

9. 振动:

简谐振动 $x = A\cos(\omega t + \phi)$, 振幅,频率和周期,相位;

振动的图像;

参考圆,简谐振动的速度 $v = -\omega A\sin(\omega t + \phi)$;

(线性)恢复力,由动力学方程确定简谐振动的频率;

简谐振动的能量;

同方向同频率简谐振动的合成;

阻尼振动,受迫振动和共振(定性).

10. 波和声:

横波和纵波;

波长,频率和波速的关系;

波的图像;

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

波的干涉, ※驻波, 波的衍射(定性);

声波, 声音的响度、音调和音色, 声音的共鸣, 乐音和噪声;

※多普勒效应.

热 学

1. 分子动理论:

原子和分子大小的数量级;

分子的热运动和碰撞, 布朗运动, 气体分子热运动速率分布律(定性);

温度的微观意义;

分子热运动的动能, ※气体分子的平均移动动能, 玻尔兹曼常量;

分子力, 分子间的势能;

物体的内能.

2. 气体的性质:

※温标, 热力学温标, 气体实验定律;

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).

3. 热力学第一定律:

热力学第一定律;

理想气体的内能;

热力学第一定律在理想气体等容、等压、等温和绝热过程中的应用, ※定容摩尔热容量和定压摩尔热容量, ※等温过程中的功(不要求导出), ※绝热过程方程(不要求导出);

※热机及其效率, ※致冷机和致冷系数.

4. ※热力学第二定律:

※热力学第二定律的开尔文表述和克劳修斯表述;

※可逆过程与不可逆过程, ※宏观过程的不可逆性;

※理想气体的自由膨胀, ※热力学第二定律的统计意义.

5. 液体的性质:

液体分子运动的特点;

表面张力系数;

※球形液面两边的压强差;

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:

熔化和凝固, 熔点, 熔化热;

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，※导热系数；
对流；
辐射，※黑体辐射的概念，※斯特藩定律。
9. 热膨胀：
热膨胀和膨胀系数。

电 学

1. 静电场：
电荷守恒定律；
库仑定律，静电力常量和真空介电常数；
电场强度，电场线；
点电荷的场强；
场强叠加原理；
匀强电场，※无限大均匀带电面的场强(不要求导出)；
均匀带电球壳壳内的场强和壳外的场强公式(不要求导出)；
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)；
电场中的导体，静电屏蔽；
电容，平行板电容器的电容公式，※球形电容器的电容公式；
电容器的连接；
电容器充电后的电能；
电介质的极化，介电常量。
2. 稳恒电流：
欧姆定律，电阻率和温度的关系；
电功和电功率；
电阻的串、并联；
电动势，闭合电路的欧姆定律；
一段含源电路的欧姆定律，※基尔霍夫定律；
电流表，电压表，欧姆表；
惠斯通电桥；
补偿电路。
3. 物质的导电性：
金属中的电流，欧姆定律的微观解释；
※液体中的电流，※法拉第电解定律；

※气体中的电流,※被激放电和自激放电(定性);

真空中的电流,示波器;

半导体的导电特性,p型半导体和n型半导体,※pn结;

晶体二极管的单向导电性※及其微观解释(定性);三极管的放大作用(不要求机理);

超导现象.

4. 磁场:

电流的磁场,磁感应强度,磁感线;

匀强磁场;

长直导线、圆线圈、螺线管中的电流的磁场分布(定性);

※无限长直导线中电流的磁场的表示式,※圆线圈中电流的磁场在轴线上的表示式,※无限长螺线管中电流的磁场的表示式(均不要求导出),※真空磁导率;

安培力,洛伦兹力,电子荷质比的测定,质谱仪,回旋加速器,霍尔效应.

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),※电子感应加速器;

自感和互感,自感系数,※通电自感的磁能(不要求推导).

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,感抗和容抗,※电流和电压的相位差;

整流,滤波和稳压;

理想变压器;

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,电磁波谱;

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;

※球面折射成像公式,※焦距与折射率、球面半径的关系;

薄透镜成像公式及作图法;

眼睛,放大镜,显微镜,望远镜.

2. 波动光学:

光程;

光的干涉现象,双缝干涉;

光的衍射现象,单缝衍射(定性)※分辨本领(不要求导出);
光谱和光谱分析.

近代物理

1. 光的本性:

光电效应,爱因斯坦方程;
光的波粒二象性,光子的能量与动量.

2. 原子结构:

卢瑟福实验,原子的核式结构;
玻尔模型,用玻尔模型解释氢光谱,玻尔模型的限制性;
原子的受激辐射,激光的产生(定性)和特性.

3. 原子核:

原子核的量级;
天然放射现象,原子核的衰变,半衰期,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.

4. 粒子:

“基本粒子”,轻子与夸克(简单知识);

四种基本相互作用;

实物粒子具有波粒二象性,※物质波,德布罗意关系 $p = \frac{h}{\lambda}$;

※不确定关系 $\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$.

5. ※狭义相对论:

爱因斯坦假设;
时间和长度的相对论效应;

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

相对论动量和能量关系 $E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4$.

6. ※太阳系,银河系,宇宙和黑洞的初步知识.

数学基础

1. 中学阶段全部初等数学(包括解析几何).
2. 矢量的合成和分解,极限、无限大和无限小的初步概念.
3. ※导数及其应用(限于高中教学大纲所涉及的内容).

二、实 验

全国中学生物理竞赛常委会组织编写的《全国中学生物理竞赛实验指导书》中的 34 个实

验是全国中学生物理竞赛复赛实验考试内容的范围. 这 34 个实验的名称是:

- 实验一 实验误差;
- 实验二 气轨上研究瞬时速度;
- 实验三 杨氏模量;
- 实验四 用单摆测重力加速度;
- 实验五 气轨上研究碰撞过程中动量和能量变化;
- 实验六 测量声速;
- 实验七 弦线上的驻波实验;
- 实验八 冰的熔化热;
- 实验九 线膨胀率;
- 实验十 液体比热容;
- 实验十一 数字万用电表的使用;
- 实验十二 制流和分压电路;
- 实验十三 测定直流电源的参数并研究其输出特性;
- 实验十四 磁电式直流电表的改装;
- 实验十五 用量程为 200 mV 的数字电压表组成多量程的电压表和电流表;
- 实验十六 测量非线性元件的伏安特性;
- 实验十七 平衡电桥测电阻;
- 实验十八 示波器的使用;
- 实验十九 观测电容特性;
- 实验二十 检测黑盒子中的电学元件(电阻, 电容, 电池, 二极管);
- 实验二十一 测量温度传感器的温度特性;
- 实验二十二 测量热敏电阻的温度特性;
- 实验二十三 用霍尔效应测量磁场;
- 实验二十四 测量光敏电阻的光电特性(有、无光照时的伏安特性; 光电特性);
- 实验二十五 研究光电池的光电特性;
- 实验二十六 测量发光二极管的光电特性(用 $eU_{\text{max}} = hc/\lambda$ 估算发光波长);
- 实验二十七 研究亥姆霍兹线圈轴线磁场的分布;
- 实验二十八 测定玻璃的折射率;
- 实验二十九 测量薄透镜的焦距;
- 实验三十 望远镜和显微镜;
- 实验三十一 光的干涉现象;
- 实验三十二 光的夫琅禾费衍射;
- 实验三十三 分光计的使用与极限法测折射率;
- 实验三十四 光谱的观测.

各省(自治区、直辖市)竞赛委员会根据本省(自治区、直辖市)的实际情况从《全国中学生物理竞赛实验指导书》的 34 个实验中确定并公布不少于 20 个实验作为本省(自治区、直辖市)物理竞赛复赛实验考试的内容范围, 复赛实验的试题从公布的实验中选定, 具体做法见《关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定》.

全国中学生物理竞赛决赛实验以本《内容提要》中的“理论基础”和《全国中学生物理竞赛实验指导书》作为命题的基础。

三、其他方面

物理竞赛的内容有一部分有较大的开阔性,主要包括以下三方面:

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

附:关于全国中学生物理竞赛实验考试、命题的若干规定

(2005年)

为了使更多的地区、更多的优秀学生的物理实验水平和素养有较大的提高,让更多的优秀学生有机会参加实验培训,为了使复赛实验考试更加公正、公平,增加透明度,特制定以下规定。各省(自治区、直辖市)竞赛委员会必须严格按照本规定组织本省有关复赛实验的活动。

一、全国中学生物理竞赛委员会常务委员会(以下简称常委会)组织编写的《全国中学生物理竞赛实验指导书》(以下简称《实验指导书》)中的34个实验是全国中学生物理竞赛复赛实验考试的内容范围。各省(自治区、直辖市)竞赛委员会要会同本省有关专家和高等学校结合本省实际情况,从这34个实验中确定全部或部分实验,作为本省(自治区、直辖市)复赛实验考试的范围。确定的实验数不得少于20个,其中必须包括实验一“实验误差”、实验十一“数字万用表的使用”、实验十二“制流和分压电路”、实验十八“示波器的使用”这四个基本实验。有的实验中含有“设计实验”,这部分实验要求属于决赛的实验考试要求,复赛实验考试不涉及这部分实验。本省确定的复赛实验考试内容范围必须向本省准备参加物理竞赛的全体考生公布,公布的时间不得晚于复赛考试前6个月。各省的复赛实验试题必须从本省公布的实验中选定。

二、各省(自治区、直辖市)的竞赛委员会要在省(自治区、直辖市)物理学会的领导下与本省(自治区、直辖市)有关高校协商设立物理竞赛实验培训点和组织本省(自治区、直辖市)的实验培训工作。培训点可设在省(自治区、直辖市)、市两级的高等学校。培训点要根据《实验指导书》的要求对学生进行培训,着眼于提高学生的实验水平和实验素养。

三、各省(自治区、直辖市)要建立本省(自治区、直辖市)物理竞赛复赛实验命题小组。命题小组由2~4位物理实验业务水平较高、教学经验比较丰富、作风正派的高等学校教师组成。命题小组的成员在当年不得参加复赛前的任何物理竞赛实验的辅导和培训工作,并且他们的身份是保密的。省(自治区、直辖市)竞赛委员会要与命题小组一起研究确定本省(自治区、直辖市)复赛实验考场所在的高校。确定为实验考场的高校,应具有能解决本省(自治区、直辖市)公布的所有实验所需的器材和实验室条件。为了有利于考试的公平性,被指定为实验考场的高校在复赛实验考试前最好不安排与物理竞赛有关的实验培训任务。如果省(自治区、直辖市)竞赛

委员会因这种或那种原因难以做到上述要求,而对考场所在的高校,在复赛实验考试前也安排了物理竞赛实验培训任务,则应做出相应的细致规定,防止因考场和培训设在同一所高校而可能带来的某些不良影响,以确保实验考试的公正与公平.请各省(自治区、直辖市)竞赛委员会结合本省(自治区、直辖市)的实际情况自己决定.各省(自治区、直辖市)公布的复赛实验考试内容的范围、确定为复赛实验考场的高校,都要报全国中学生物理竞赛办公室备案.

四、复赛实验命题小组的主要任务:

1. 从本省(自治区、直辖市)公布的“复赛实验考试内容范围”中选定两个实验作为本省(自治区、直辖市)复赛实验考题的内容.各省(自治区、直辖市)都必须公布的四个基本实验不单独作为实验考试题目,这四个基本实验内容的考查将体现在其他有关实验之中.

2. 根据选定作为试题内容的两个实验和《实验指导书》对这两个实验的要求,编制本省(自治区、直辖市)复赛实验考试的试卷,试卷一般应包括以下内容:

(1) 实验名称.作为考题的实验名称可以与《实验指导书》中的该实验名称相同,亦可在行文上做些修改,使之符合试题的语气.

(2) 实验要求和实验内容.

(3) 实验所用的器材名称和必要的仪器描述.

复赛实验考试的要求,实验原理、实验内容,所用的器材都不得超出《实验指导书》中关于该实验的规定.

3. 制定复赛实验考试评分标准.

复赛实验根据考生的书面答卷进行评分,要求考生写在卷面的内容应在“实验要求”和“考试内容”中向考生交代清楚.

4. 准备实验器材、保证器材的完好性能.

5. 组织阅卷、评分、查分工作.

全国中学生物理竞赛委员会常务委员会

2005年12月22日

指定参考书

1. 全国中学生物理竞赛办公室,编.全国中学生物理竞赛参考资料.北京:北京教育出版社,1985—2002;全国中学生物理竞赛专辑.北京:北京教育出版社,2003—2007.北京:北京大学出版社,2008—2013.

2. 沈克琦.高中物理学 1.北京:北京出版社,1997;高中物理学 2.北京:北京出版社,1998;高中物理学 3.北京:北京出版社,1998;高中物理学 4.北京:北京出版社,1999.

3. 全国中学生物理竞赛常务委员会,组织编写.全国中学生物理竞赛实验指导书.北京:北京大学出版社,2006.

参 考 资 料

1. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:力学分册.北京:清华大学出版社,2005.
2. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:电学分册.北京:清华大学出版社,2005.
3. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:热学、光学与近代物理分册.北京:清华大学出版社,2006.
4. 全国中学生物理竞赛常务委员会,编.全国中学生物理竞赛第1~20届试题解析:实验分册.北京:清华大学出版社,2008.

在第 28 届全国中学生物理竞赛颁奖大会 暨闭幕式上的讲话(一)

王铁军^{*}

(2011年11月2日)

尊敬的朱静芝副省长、于建忠书记、省教育厅厅长王铁军、林建斌主任、尊敬的各位领导和各位专家、亲爱的老师们、同学们、各位来宾、同志们、朋友们、大家上午好!

第二部分

经过大家的共同努力和紧张激烈的竞赛,第 28 届全国中学生物理竞赛即将落下帷幕。

第 28 届全国中学生物理竞赛专题

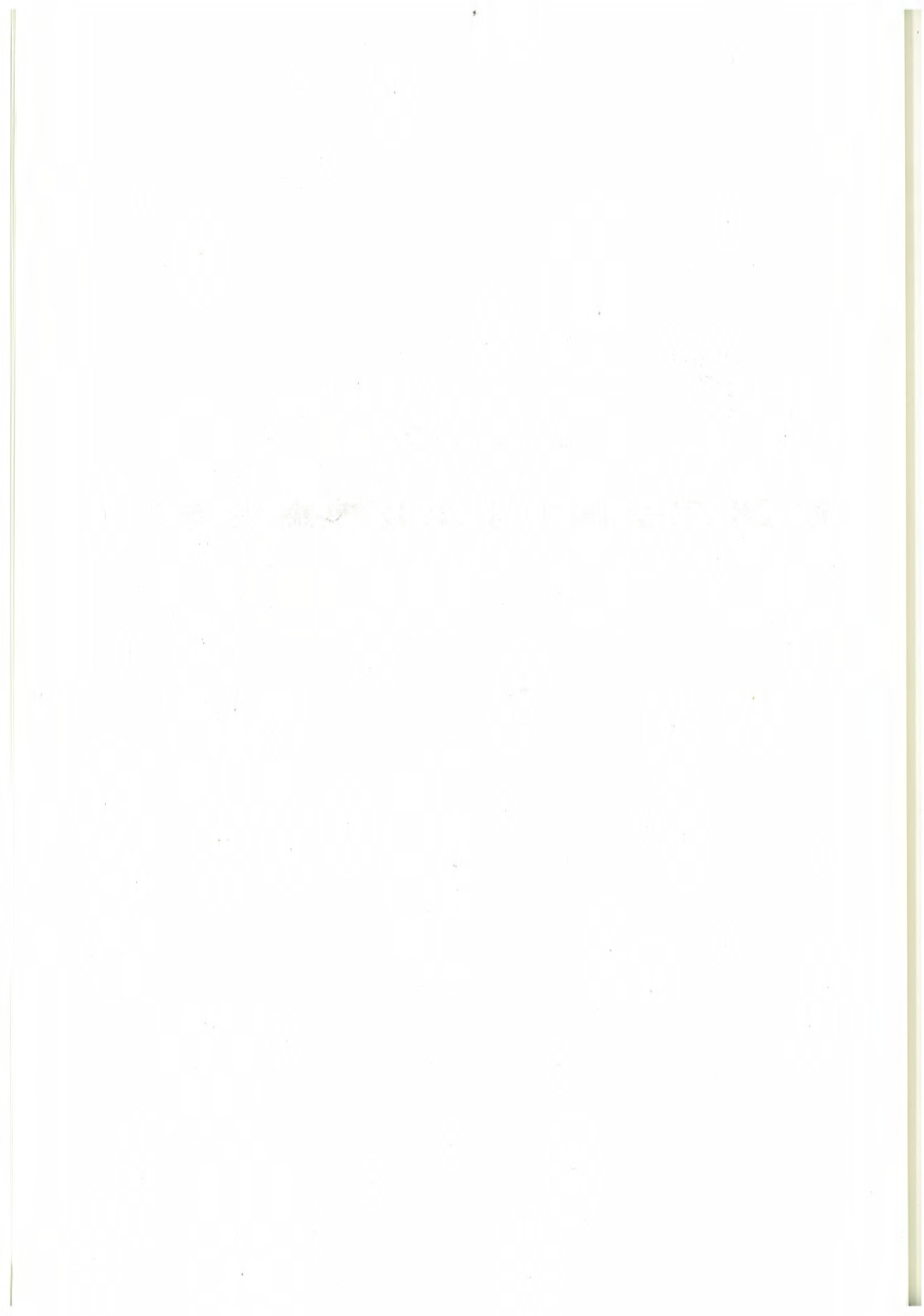
工作的各位领导、教师们致以崇高的敬意!对参加本届竞赛决赛的同学们取得的优异成绩表示热烈的祝贺!

全国中学生物理竞赛激发中学生热爱科学的热情,发现和培养创新人才有着重要的意义。它是一个高水平的智慧比拼、能力较量的平台,更是交流学习、共同进步的纽带。本届决赛是过预赛选拔赛的基础上,来自 21 个省、市、自治区的 249 名优秀选手,从全国 48 万参赛学生中脱颖而出参加了此次决赛。

在竞赛过程中,各位领导、各位专家、评委们不辞劳苦,始终坚持严格、公平、公正,各位领队兢兢业业,给予学生们无微不至的关心和陪伴,而来自各地的优秀选手勤于思考探索,勇于拼搏竞争,展现出了当代优秀中学生的精神风貌,这些都给西安交大附中全体师生留下了深刻的印象,并将产生深远的影响。

感谢全国中学生物理竞赛委员会对我们的信任,感谢陕西省政府、陕西省教育厅、陕西省中、陕西省中学生物理竞赛委员会以及西安曲江新区教育局的大力支持。一年来,在全国中学生物理竞赛委员会的指导下,陕西省物理学会、西安交通大学、西安交大附中齐心协力,为筹备本次竞赛做了大量工作。在大家的共同努力和支持下,竞赛理论命题和阅卷等项的考务工作有条不紊,井然有序;我们的会务接待和后勤工作也得到了领导、专家和领队老师们的肯定。当然我们深知,在会务接待后勤保障,努力做好竞赛的各项工作中,但是难免出现服务不周的地方,在此我衷心感谢大家的批评与谅解。

长期以来,西安交大拥有一批造诣深厚的人文底蕴和浓郁的学术氛围,始终传承家传教育,遵照学生的全面发展和因材施教的原则,学校恪守“努力追求适合每一个学生发展的教育”的办学理念,倡导以学生为主体,教师为主导,培养有涵养、有责任感、有创新意识、有国际视野、有国际视野、有国际视野、有国际视野,形成了鲜明的育人特色,也为国内外培养了一大批优秀毕业生。过去的一年里,我们秉承“以学生为本”的宗旨,秉承了“以学生为本”的宗旨,也得益于全国各高校和海内外兄弟学校的大力支持,我们也将通过本次活动,进一步



在第 28 届全国中学生物理竞赛颁奖大会 暨闭幕式上的讲话(一)

王佩东^①

(2011 年 11 月 2 日)

尊敬的朱静芝副省长、王建华书记,尊敬的丛树桐教授、林纯镇主任,尊敬的各位领导、各位专家、各位来宾,亲爱的老师们、同学们,各位媒体朋友们:

晚上好!

经过大家的共同努力和紧张激烈的角逐,第 28 届全国中学生物理学竞赛决赛即将落下帷幕。在此,我谨代表本届竞赛决赛组委会和西安交通大学附属中学对所有指导、支持我们承办此次竞赛的上级部门和各位领导表示最衷心的感谢!向严谨敬业的各位专家和积极配合竞赛工作的各位领队教练们致以最崇高的敬意!对参加本届竞赛决赛的同学们所取得的优异成绩表示最热烈的祝贺!

全国中学生物理竞赛对激发中学生探索科学的热情、发现和培养创新人才有着重要的意义,它既是一个高水平的智慧比拼、能力较量的平台,更是交流学习、共同进步的纽带。本届竞赛经过预赛和复赛的选拔,来自 31 个省、市、自治区的 280 名优秀选手,从全国 48 万参赛学生中脱颖而出参加了此次决赛。

在竞赛过程中,各位领导、各位专家、评委们不辞劳苦,始终坚持严明、公平、公正;各位领队教练兢兢业业,给予学生们无微不至的关心和辅导;而来自各地的优秀选手敏于思考探索、敢于拼搏竞争,展现出了当代优秀中学生的精神风貌,这些都给西安交大附中全体师生留下了极为深刻的印象,并将产生深远的影响。

感谢全国中学生物理竞赛委员会对我们的信任,感谢陕西省政府、陕西省教育厅、陕西省科协、陕西省中学生物理竞赛委员会以及西安市与碑林区教育局的大力支持。一年来,在全国中学生物理竞赛委员会的指导下,陕西省物理学会、西安交通大学、西安交大附中齐心协力,为筹备本次决赛做了大量工作。在大家的共同努力和支持下,竞赛理论考试和实验考核的考务工作有条不紊,井然有序;我们的会务接待和后勤工作也得到了领导、专家和领队教练们的肯定。当然我们深知,尽管我们全心全意,努力做好竞赛的各项工作,但是难免出现服务不周的地方,在此,我衷心感谢大家的谅解与包容。

长期以来,西安交大附中依托百年交大深厚的人文底蕴和浓郁的学术氛围,始终坚持素质教育,重视学生的全面发展和创新能力的培养,学校恪守“努力追求适合每一个学生发展的教育”的办学理念,倡导让学生快乐地学习、健康地成长,培养有涵养、有责任心、有创新能力、有领袖素养、有国际视野、体魄健康的可持续发展人才,形成了鲜明的育人特色,也为国内外知名高校培养出了大批优秀毕业生。西安交大附中发展到今天,得益于上级部门与各位领导的关怀与鼓励,也得益于全国各高校和省内外兄弟中学的支持与帮助。我们希望通过承办本届决赛,

^① 王佩东,决赛组委会秘书长,西安交通大学附属中学校长。

建立起向全国各优秀学校学习和交流的平台,这对于我校的各项工作将起到极大的促进作用.在此,我诚挚欢迎各位领导、各位专家、各位同仁常来西安交大附中指导我们的工作.

梁启超先生说:“少年智则国智,少年强则国强.”在座的同学们,你们都是学业上的佼佼者,更是民族的未来与希望,我希望大家以此为起点继续努力,不骄不躁,精益求精,在科学的道路上勇攀高峰!希望你们树立报效国家、贡献人类的责任感、使命感,将来成为身心健康、品德高尚、学识渊博、可堪大用、能负重任的栋梁之才!

最后,我再一次对出席今晚颁奖大会的朱静芝副省长与各位领导、各位专家、各位来宾朋友们表示衷心的感谢!

祝愿大家身体健康、工作顺利!祝愿同学们学习进步、早日成才!

谢谢大家!

在第 28 届全国中学生物理竞赛颁奖大会 暨闭幕式上的讲话(二)

李福利^①

(2011 年 11 月 2 日)

尊敬的朱静芝副省长、王建华书记及各位领导,尊敬的丛树桐先生、林纯镇先生,竞委会各位委员,各省领队的各位老师,亲爱的同学们,大家晚上好!

第 28 届全国中学生物理竞赛决赛即将落下帷幕,在此我代表承办此次竞赛的西安交通大学理学院向给予我们工作指导、帮助和配合的各位老师表示衷心的感谢!向获奖的各位同学表示热烈的祝贺。

第 28 届全国中学生物理竞赛决赛在西安交通大学举办是大家对我们理学院物理学科的信任,同时也具有特殊的意义。

西安是座古城,提到西安大家一定会想到秦兵马俑、明城墙等古迹,可能大家不是很了解,其实当代中国流行的“留学生”一词就起源于西安,起源于中国唐朝时期中日文化交流。唐朝是中国最鼎盛的时期之一,当时一批批日本学者为学习先进的中国文化不远万里来此求学。在西安有许多承载这段历史的遗迹和纪念物,在附近就有两处。出我们学校北门,是兴庆宫,里面立有纪念日本遣唐留学生阿倍仲麻吕的纪念碑,他的中国名字叫晁衡,唐玄宗开元五年(717),因汉文修养良好而被选为遣唐留学生,当时他还不满 20 岁。入唐以后,他的学识和品行,很快受到唐朝皇帝和学界的赞赏,先后任校书、左补阙、秘书监、左散骑常侍和镇南都护等职。秘书监相当于国家图书馆馆长。出我们学校的南门,不到一站路,有个地方叫青龙寺,最近几年修缮得很宏大,那里曾汇集过大批日本留学僧人,是日本人眼中的圣寺。遥想当年,海内外学人向往此地、汇集于此,近观现今每年我们有数十万优秀的青年才俊奔赴海外求学,使人无不感慨,近代我们确实落后了。中华民族历来自强不息,经过近一百多年的艰苦卓绝的奋斗,中华民族终于踏上了伟大的复兴之路。在座的各位同学都是中学物理学习的佼佼者,天之骄子,是国家未来的希望,你们将会进入中国最好的几所大学学习深造,相当一部分同学将来还会留学海外,提起这段历史,就是希望同学们能够记住你们事业的起点是在西安这个有着特殊意义的地方,希望同学们无论到哪里都要记住你们的责任,能够为中华民族的伟大复兴、为国家的强盛、科技的发展、人民的幸福作出自己的贡献。

纵观历史,可以看到物理学对人类文明的进步、科技的发展所起的作用是任何其他学科无法比拟的,是所有工程学科的基础,重视物理学在人才培养中的作用一直是西安交通大学的办学传统。西安交通大学的前身——上海南洋公学创立于 1896 年,是国内按西方先进的办学理念创办最早的大学之一,开中国高等工程教育之先河。学校在办学之初就十分重视物理学科的建设,早在 1904 年就设立了物理实验室,是国内高校设立最早的物理实验室之一。交通大学办学特色是:“起点高、基础厚、要求严、重实践”,其中“基础厚、要求严”指的就是包括物理课在

^① 李福利,决赛组委会秘书长,西安交通大学理学院院长。

内的几门基础课要求非常严,被学生称为“霸王”课,一次考试下来一片学生不及格是常事,正是这种严格的科学训练,造就和培养了一大批杰出的物理人才,如钱学森、王安(计算机磁存储器发明者)、吴有训(对康普顿散射做出重要贡献)等.经过几代人的努力,现在西安交通大学已成为国家物理学人才培养的重要基地,设有三个物理本科专业,拥有物理一级学士、硕士、博士学位授予权,已形成完整的人才培养体系;首批入选国家物理学科拔尖人才培养计划;物理教学实验中心为“国家工科物理教学基地”;物理实验室首批入选国家级“实验教学示范中心”;大学物理课程为国家精品课程.这些成绩的取得,离不开各学校物理同仁多年来的大力支持与帮助,借此机会向全国的物理同仁表示衷心的感谢.

西安交通大学已进入冲击世界一流研究型大学的关键时期,学校充分认识到一流工程学科必须有一流的物理学科作为支撑,因此在高水平大学三期建设中学校给予物理学科特别的支持,希望能把物理学科建设成为一流的学科.在此我恳切地希望全国物理同仁能一如既往地给予我们鼎力支持与帮助.

最后我想指出,尽管我们付出了极大的努力,尽可能做好这次竞赛的各项工作,但因各种客观条件的限制,难免有不尽如人意的地方,请大家谅解并批评指正,以便今后我们能把工作做得更好.

大家很快就要离开西安了,在此祝各位老师身体健康,祝同学们学习进步,旅行愉快.
谢谢大家!

在第 28 届全国中学生物理竞赛颁奖大会 暨闭幕式上的讲话(三)

王建华^①

(2011 年 11 月 2 日)

尊敬的各位领导、嘉宾,各位老师、同学们:

大家好!

经过激烈角逐,第 28 届全国中学生物理学竞赛决赛即将落下帷幕,在此,我谨代表西安交通大学对出席本届竞赛的各位专家、领队、教练员和参赛选手们表示诚挚的感谢!向取得优异成绩的选手表示热烈的祝贺!

物理学是一门基础学科,与社会发展息息相关,前景广阔.随着现代科学技术的发展,许许多多基于物理学原理的新方法和技术不断涌现.当今的优秀中学生将是我国未来科技力量的主力军,打好物理学基础对于培养学生创新思维 and 创新能力具有现实的意义.

西安交通大学是一所以工科和管理学科而著名的重点研究性综合大学,许多研究成果处于世界前沿地位.近年来,西安交大积极推进基于通识教育、科研能力和创新能力培养的“2+4+X”研究型大学人才培养新模式,实现从知识传授型向探索研究型教育的转变,培养了一大批崇尚科学的杰出人才,对于促进中国乃至世界科技进步、社会发展和人类文明进步起到了积极的作用.

古城西安,是十三朝古都和丝绸之路的起点,是中国的科教中心之一,科研院所和高等院校林立,教育、科研综合实力位居全国前列.对此,作为本届中学生物理竞赛决赛承办单位,我们感到非常荣幸和自豪.同时,我希望通过这次赛事,加强我们与大家的交流,欢迎各位专家来西安交大指导工作,欢迎各位同学来西安交大学习,共同促进学校的发展.

这次全国中学生物理学竞赛决赛的顺利进行,归功于国家科协、全国中学生物理竞赛委员会和陕西省政府、陕西省教育厅等部门的鼎力支持,我们表示衷心感谢.

最后,祝贺第 28 届全国中学生物理竞赛决赛胜利闭幕!祝愿各位嘉宾、各位老师、同学在古城西安生活愉快、身体健康!

谢谢大家!

^① 王建华,西安交通大学党委书记.

在第 28 届全国中学生物理竞赛颁奖大会 暨闭幕式上的讲话(四)

林纯镇^①

(2011 年 11 月 2 日)

各位领导,各位老师,各位同学:

第 28 届全国中学生物理竞赛的各项活动到今天已经全部胜利完成. 本届竞赛约有 48 万多学生参加了预赛考试, 25621 名学生参加了复赛的理论考试, 2699 名学生参加了复赛的实验考试. 而去年参加预赛考试的学生约有 44 万, 这说明中学生物理竞赛越来越受到广大中学生的欢迎, 已经成为目前国内青少年喜欢参加的最大的学科赛事之一. 本届的决赛有 280 人参加, 最后评出 50 名一等奖, 96 名二等奖, 134 名三等奖, 还有四项单项奖. 值得高兴的是他们中的大多数同学已经在现场被来自国内的 11 所著名高校预录取, 录取盛况空前. 这说明我们竞赛活动的品质和参赛学生所表现出来的学科总体素质得到了社会的认可和肯定. 在这里让我代表全国中学生物理竞赛委员会向来这里参加竞赛获奖的同学致以衷心的祝贺, 向辛勤培育参赛学生成长的老师们致以崇高的敬意.

参赛的同学来自全国各个省份, 由于各地的教育水平、培训能力, 以及每个同学学习能力和学习物理时间的长短的不同, 得奖的情况自然不同. 但是物理学作为一门基础学科, 它在今天科学及工程技术乃至经济各个领域的应用极其广泛, 不管同学们今后是否从事物理工作, 我相信从参加竞赛这段宝贵的经历中所获得的知识 and 能力, 将会使你今后的工作受益. 预祝同学们在今后的学习和工作中获得更大的成功.

本届竞赛是由陕西省物理学会、西安交通大学、西安交通大学附中联合承办, 在承办的过程中受到陕西省政府、省教育部门、省科协的大力支持. 本届竞赛的命题工作由西安交通大学、西北大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、北京师范大学、清华大学承担. 决赛的阅卷评分及考务工作由西安交通大学、西北大学、武汉大学、清华大学、北京大学承担. 我代表全国中学生物理竞赛委员会向以上这些单位的领导和老师表示衷心的感谢.

最后, 我特别要提到的是西安交大附中的校长、主任和老师们, 他们为竞赛尽心尽力地工作. 他们热情周到和人性化的服务令参赛的师生感到温馨和感动. 参赛师生们应邀参观了举世闻名的兵马俑, 同时领略了古城西安的现代风光. 大家对美丽的西安交大和西安交大附中校园留下了美好印象. 我代表全国竞委会和参赛的全体师生对西安交大附中的领导和老师表示深切的感谢.

经全国竞委会决定, 第 29 届全国中学生物理竞赛将于 2012 年 11 月 17 日在吉林省美丽的吉林市举行, 由吉林省物理学会、北华大学和吉林一中联合承办. 他们的领导和负责同志已经来到现场, 开始了他们的准备工作. 我代表竞委会对他们表示感谢, 并预祝他们承办成功.

现在我宣布第 28 届全国中学生物理竞赛胜利闭幕, 祝老师和同学们身体健康, 一路顺风. 谢谢大家!

^① 林纯镇, 第 28 届全国中学生物理竞赛委员会主任.

第28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

全国竞赛委员会成员

顾问

丛树桐

主任

林纯镇

副主任

贾起民

常委

叶沿林 叶邦角 潘正权 宋 峰

委员(地区以汉语拼音为序)

范淑兰(兼办公室主任)	叶 柳(安徽)	李子恒(北京)	周智良(重庆)
卞伯达(福建)	陈宏善(甘肃)	孙国耀(广东)	韦卫星(广西)
令狐荣锋(贵州)	林 吉(海南)	杨世平(河北)	贾 瑜(河南)
赵 远(黑龙江)	刘觉平(湖北)	匡乐满(湖南)	吕天全(吉林)
梁 浩(吉林)	张伟森(吉林)	潘元胜(江苏)	徐旭明(江西)
杜 安(辽宁)	宫 箭(内蒙古)	陈潮红(宁夏)	唐心科(青海)
何希庆(山东)	虞仲博(山西)	白晋涛(陕西)	王佩东(陕西)
张胜利(陕西)	陈树德(上海)	王 磊(四川)	宋 峰(天津)
单增罗布(西藏)	李体莲(新疆)	郝建明(云南)	应和平(浙江)
王安华(基教司)			

组织委员会

主办

中国物理学会

承办

陕西省物理学会、西安交通大学、西安交通大学附属中学

名誉主任

朱静芝 郑南宁

科学顾问

侯 洵

主任

杨希文 牟怀岐

常务副主任

程光旭

副主任

吕明凯 韩开兴 王小力 田东平

委员

张荣祖 肖 慧 白晋涛 王佩东

李福利 刘进军 陈光德 徐忠锋

秘书长

白晋涛 王佩东 李福利

副秘书长

张胜利 宋晋安 姚合宝

评奖组成员

刘觉平 张孝林 刘聚成 董庆彦

王红理 徐 湛 林纯镇 丛树桐

决赛获奖学生名单**一等奖(50名)**

舒 驰(湖北)

诸兆轩(天津)

蒋 智(湖南)

江一苇(江苏)

张昊天(辽宁)

喻凯东(湖南)

刘 恕(山东)

于 跃(辽宁)

项卓伦(浙江)

李 航(陕西)

徐竟成(辽宁)

贾伟嘉(河北)

鞠 安(山东)

黄文卓(湖北)

李大可(浙江)

叶伟成(四川)

王 森(四川)

高 飞(湖北)

憨家豪(陕西)

刘芮杉(四川,女)

陈 鑫(辽宁)

刘 尚(河北)

严朝鹏(江西)

傅庶佳(湖南,女)

袁思涵(湖南)

乐天昊(上海)

虞 跃(浙江)

谢怡然(浙江,女)

竺俊博(浙江)

周恒昀(北京)

张成锴(湖北)

唐家兴(上海)

程 威(湖北)

周舟航(上海)

罗 恒(湖南)

卫斯远(上海)

陈冷融(浙江)

李毛川(湖南)

章逸飞(江苏)

姜一君(辽宁)

张剑寒(湖南)

王东暉(北京)

赵轩宇(山西)

池雨泽(吉林)

付星昱(湖南)

郑泽林(辽宁)

曹 奥(湖南)

张易凡(陕西)

关梓轩(北京)

姚文杰(湖南)

二等奖(96名)

- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|----------|
| 郭铁成(河北) | 申子魁(河南) | 王少莘(吉林) | 白瑞雪(重庆) |
| 马雨玮(上海) | 韩纪飞(河北) | 苏鑫(上海) | 李世康(河南) |
| 陈星晔(吉林) | 王乾(山东) | 郭兆珩(湖北) | 雷志贤(湖北) |
| 陈宽永(湖南) | 苗巍(吉林) | 王正(河南) | 谢成林(辽宁) |
| 黄康靖(湖北) | 陈嘉证(北京) | 杨平凡(广东) | 张仁桥(北京) |
| 薛芑(海南) | 王思真(北京) | 孟庆良(山东) | 顾安(上海) |
| 祝世杰(广东) | 张盛博(河南) | 李官涛(湖北) | 徐梦泽(湖北) |
| 李秋宇(河北) | 张泽懿(陕西,女) | 刘昊杨(湖北) | 吴凡(陕西) |
| 梁晨(河北) | 郭致超(安徽) | 茅易翔(安徽) | 钱盾(安徽) |
| 陈潜(重庆) | 郝鸣(河北) | 余欣彤(广东,女) | 陈智颖(上海) |
| 岳明昊(河南) | 江晓宇(湖南) | 龚磊(湖南) | 梁岳明(广东) |
| 刘星(湖南) | 费凡(上海) | 金佳盛(上海) | 毛丹(上海,女) |
| 岳琛(重庆) | 张瀚文(吉林) | 胡徐(四川) | 吴旦(浙江) |
| 戴彤宇(河北) | 石晓彤(陕西) | 杨晓婷(重庆,女) | 陈曦(福建) |
| 邱赫梓(黑龙江) | 舒炫博(辽宁) | 汪建峰(安徽) | 王华溢(湖北) |
| 陈博轩(北京) | 丁石磊(甘肃) | 戴博(湖北) | 陈旭(辽宁) |
| 袁梦阳(浙江) | 王林觉(浙江) | 单君翌(天津) | 罗哲焜(广东) |
| 叶柄天(江苏) | 易超(江西) | 方玮骐(广东) | 李辛鸣(河北) |
| 孙宁悦(吉林,女) | 陈瑜玮(浙江) | 任辉(河北) | 杨凌波(陕西) |
| 章尧畅(浙江) | 陈城(江苏) | 应艺琳(广东,女) | 鲍昌华(浙江) |
| 李绪荣(福建) | 扈鸿业(河北) | 袁思睿(湖南) | 魏天予(山东) |
| 李鹏飞(河南) | 于善哲(黑龙江) | 胡安冬(陕西) | 温九(四川) |
| 温爽(四川) | 陈庆英(福建) | 吴驿平(河南) | 黄锦优(浙江) |
| 陈望桥(黑龙江) | 陈青钰(福建) | 邓磊(湖南) | 刘一烽(浙江) |

三等奖(134名)

- | | | | |
|-----------|-----------|---------|---------|
| 栾亨伟(天津) | 钱洋(浙江) | 陈思杰(福建) | 蒋捷(天津) |
| 郑昊(上海) | 姜航(浙江) | 梁明诚(广西) | 沈钟灵(湖北) |
| 王船(重庆) | 陈钧伟(福建) | 罗从焕(广东) | 李立中(天津) |
| 梅全鑫(浙江) | 王成功(山西) | 周敖(重庆) | 吴行中(北京) |
| 张琬茸(山西,女) | 陈方源(广西,女) | 段晓豪(山西) | 楚鸿豪(陕西) |
| 陈逸然(福建) | 蒋维(江苏) | 周星哲(山西) | 许光宇(江苏) |
| 曾文远(北京) | 王宏达(江西) | 郝有峰(河南) | 马博(山东) |
| 胡益铭(北京) | 李瑞龙(辽宁) | 徐东(河北) | 钱峰(江西) |
| 傅豪(湖北) | 张灏(新疆) | 高智涵(四川) | 马若辰(天津) |
| 周冠佟(吉林) | 何进阳(天津) | 高叶(北京) | 牛文奇(陕西) |
| 谢永俊(福建) | 黄山(江苏) | 姜成昱(新疆) | 章程(安徽) |

严 然(安徽)	王 雯(重庆)	徐亚青(江西,女)	石一雄(湖南)
赵忆伟(贵州)	吴毓儒(海南)	邢善谦(新疆)	赵万荣(甘肃)
夏圣悦(山东)	毛 祺(陕西)	谢宇聪(河南)	张书豪(辽宁)
张 霄(北京)	彭 觅(湖北)	宋坤明(广西)	张雪悦(新疆,女)
吕旭东(山西)	马 琳(天津)	邓诗萌(辽宁,女)	王英杰(四川)
陈佳艺(福建)	马泰坤(北京)	郭奕呈(黑龙江)	刘俊鑫(海南)
李雪岩(山东)	余翰舟(湖北)	田嘉睿(甘肃)	刘华睿(黑龙江)
刘芑宇(吉林)	梁 岩(内蒙古)	项轲超(辽宁)	周 洲(湖北)
刘江睿(山东)	陆超豪(江苏)	程春阳(安徽)	林良浩(福建)
李河虬(广东)	张 凡(内蒙古)	蔡 阳(上海)	曹建安(江西)
强光友(安徽)	韩傲雪(天津,女)	邢 阳(山西,女)	韩谷怀(四川)
庞天宇(北京)	任哲玄(重庆)	鲁佳鸣(安徽)	王茗泽(内蒙古)
韦 琬(广西,女)	蒋浩然(宁夏)	宋 亮(内蒙古)	骆冠成(上海)
钟 铃(新疆,女)	冉 宇(贵州)	邓立人(江苏)	陈 森(四川)
马驰川(甘肃)	徐永琪(新疆)	谢召飞(海南)	李樾辰(贵州)
包 涵(宁夏)	朱贝尔(江苏)	李贺杰(陕西)	陈奕琪(新疆)
蒋明轩(重庆)	杨嘉禾(甘肃,女)	刘 璐(广西,女)	会常庆(内蒙古)
张景洲(山东)	王 尧(青海)	陈冠楚(云南)	申 飞(宁夏)
黄政明(宁夏)	杨 俊(云南)	刘 平(贵州)	梁祖溲(贵州)
邵扬斌(云南)	许阳洋(云南)	刘乃少(云南)	陈 琳(宁夏,女)
李正安(青海)	周泽麟(青海)	李 楠(青海,女)	傅 骁(海南)
拉 布(西藏)	李 智(青海)	孙 欣(西藏)	李袁合(西藏)
旦增伦珠(西藏)	普布次仁(西藏)		

单项奖

总成绩最佳奖: 舒 驰(湖北)

理论成绩最佳奖: 舒 驰(湖北)

实验成绩最佳奖: 项卓伦(浙江)

女学生成绩最佳奖: 谢怡然(浙江)

第 28 届全国中学生物理竞赛试题及参考解答

预赛试题及参考解答

试 题

一、选择题(在每小题给出的 4 个选项中,有的小题只有一项符合题意,有的小题有多项符合题意.把符合题意的选项前面的英文字母写在每小题后面的括号内.)

1. 常用示波器中的扫描电压 u 随时间 t 变化的图线是 ()

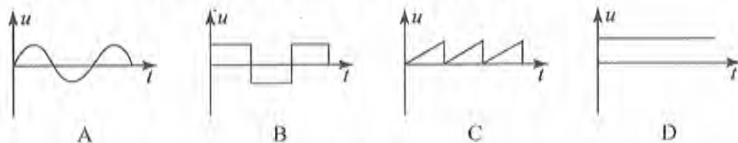


图 1

2. 下面列出的一些说法中正确的是 ()

- A. 在温度为 20°C 和压强为 1 个大气压时,一定量的水蒸发为同温度的水蒸气,在此过程中,它所吸收的热量等于其内能的增量.
- B. 有人用水银和酒精制成两种温度计,他都把水的冰点定为 0° 度,水的沸点定为 100° 度,并都把 0 刻度与 100 刻度之间均匀等分成同数量的刻度,若用这两种温度计去测量同一环境的温度(大于 0° 度且小于 100° 度)时,两者测得的温度数值必定相同.
- C. 一定量的理想气体分别经过不同的过程后,压强都减小了,体积都增大了,则从每个过程中气体与外界交换的总热量看,在有的过程中气体可能是吸收了热量,在有的过程中气体可能是放出了热量,在有的过程中气体与外界交换的热量为 0 .
- D. 地球表面一平方米所受的大气的压力,其大小等于这一平方米表面单位时间内受上方作热运动的空气分子对它碰撞的冲量,加上这一平方米以上的大气的重量.

3. 把以空气为介质的两个平行板电容器 a 和 b 串联,再与电阻 R 和电动势为 E 的直流电源如图 2 连接.平衡后,若把一块玻璃板插入电容器 a 中,则再达到平衡时, ()

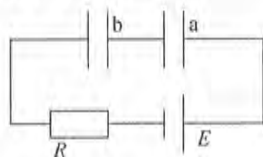


图 2

- A. 与玻璃板插入前比,电容器 a 两极间的电压增大了.
- B. 与玻璃板插入前比,电容器 a 两极间的电压减小了.
- C. 与玻璃板插入前比,电容器 b 贮存的电能增大了.
- D. 玻璃板插入过程中电源所做的功等于两电容器贮存总电能的增加量.

4. 多电子原子核外电子的分布形成若干壳层,K 壳层离核最近,L 壳层次之,M 壳层更次之,……,每一壳层中可容纳的电子数是一定的,当一个壳层中的电子填满后,余下的电子将分布到次外的壳层.当原子的内壳层中出现空穴时,次外壳层中的电子将跃迁至空穴,并以发射

光子(X光)的形式释放出多余的能量,但亦有一定的概率将跃迁中放出的能量传给另一个电子,使此电子电离,这称为俄歇(Auger)效应,这样电离出来的电子叫做俄歇电子.现用一能量为 40.00 keV 的光子照射 Cd(镉)原子,击出 Cd 原子中 K 层一个电子,使该壳层出现空穴,已知该 K 层电子的电离能为 26.8 keV . 随后, Cd 原子的 L 层中一个电子跃迁到 K 层,而由于俄歇效应, L 层中的另一个电子从 Cd 原子射出,已知这两个电子的电离能皆为 4.02 keV ,则射出的俄歇电子的动能等于 ()

- A. $(26.8 - 4.02 - 4.02) \text{ keV}$ B. $(40.00 - 26.8 - 4.02) \text{ keV}$
 C. $(26.8 - 4.02) \text{ keV}$ D. $(40.00 - 26.8 + 4.02) \text{ keV}$

5. 一个圆弧形的槽,槽底放在水平地面上,槽的两侧与光滑斜坡 aa' , bb' 相切,相切处 a, b 位于同一水平面内,槽与斜坡在竖直平面内的截面如图 3 所示. 一个小物块从斜坡 aa' 上距水平面 ab 的高度为 $2h$ 处沿斜坡自由滑下,并自 a 处进入槽内,到达 b 后沿斜坡 bb' 向上滑行,已知到达的最高处距水平面 ab 的高度为 h ;接着小物块沿斜坡 bb' 滑下并从 b 处进入槽内反向运动,若不考虑空气阻力,则 ()

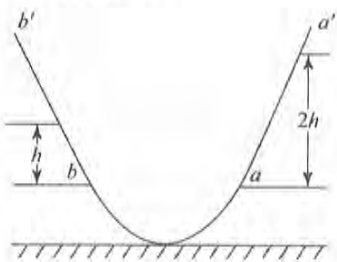


图 3

- A. 小物块再运动到 a 处时速度变为零.
 B. 小物块尚未运动到 a 处时,速度已变为零.
 C. 小物块不仅能再运动到 a 处,并能沿斜坡 aa' 向上滑行,上升的最大高度为 $2h$.
 D. 小物块不仅能再运动到 a 处,并能沿斜坡 aa' 向上滑行,上升的最大高度小于 h .

二、填空题和作图题(把答案填在题中的横线上或把图画在题中指定的地方.只要给出结果,不需写出求得结果的过程.)

6. 在大气中,将一个容积为 0.50 m^3 的一端封闭、一端开口的圆筒筒底朝上、筒口朝下竖直插入水池中,然后放手.平衡时,筒内空气的体积为 0.40 m^3 . 设大气的压强与 10.0 m 高的水柱产生的压强相同,则筒内、外水面的高度差为_____.

7. 近年来,由于“微结构材料”的发展,研制具有负折射率的人工材料以及探讨此类材料的光学性质及其应用,已受到人们的关注.对正常介质,光线从真空射入折射率为 n 的介质时,入射角和折射角满足折射定律公式,入射光线和折射光线分布在界面法线的两侧;若介质的折射率为负,即 $n < 0$,这时入射角和折射角仍满足折射定律公式,

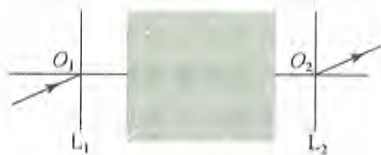


图 4

但入射光线与折射光线分布在界面法线的同一侧.现考虑由共轴的两个薄凸透镜 L_1 和 L_2 构成的光学系统,两透镜的光心分别为 O_1 和 O_2 ,它们之间的距离为 s .若要求以与主光轴成很小夹角的光线入射到 O_1 能从 O_2 出射,并且出射光线与入射光线平行,则可以在 O_1 和 O_2 之间放一块具有负折射率的介质平板,介质板的中心位于 O_1O_2 的中点,板的两个平行的侧面与主光轴垂直,如图 4 所示.若介质的折射率 $n = -1.5$,则介质板的厚度即垂直于主光轴的两个平行侧面之间的距离 $d =$ _____.

8. 已知:规定一个 K(钾)原子与 Cl(氯)原子相距很远时,它们的相互作用势能为 0;从一个 K 原子中移走最外层电子形成 K^+ 离子所需的能量(称为电离能)为 E_K ,一个 Cl 原子吸收一个电子形成 Cl^- 离子释放的能量(称为电子亲和能)为 E_{Cl} ; K^+ 离子(视为质点)与 Cl^- 离子

(视为质点)之间的吸引力为库仑力,电子电荷量的大小为 e ,静电力常量为 k .利用以上知识,可知当 KCl 分子中 K^+ 离子与 Cl^- 离子之间的库仑相互作用势能为 0 时, K^+ 离子与 Cl^- 离子之间的距离 r_s 可表示为_____ .若已知 $E_K = 4.34 \text{ eV}$, $E_{Cl} = 3.62 \text{ eV}$, $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$, $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$,则 $r_s =$ _____ m.

9. 光帆是装置在太空船上的一个面积很大但很轻的帆,利用太阳光对帆的光压,可使太空船在太空中飞行.设想一个光帆某时刻位于距离太阳为 1 天文单位(即日地间的平均距离)处,已知该处单位时间内通过垂直于太阳光辐射方向的单位面积的辐射能量 $E = 1.37 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,设平面光帆的面积为 $1.0 \times 10^6 \text{ m}^2$,且其平面垂直于太阳光辐射方向,又设光帆对太阳光能全部反射(不吸收),则光帆所受光的压力约等于_____ N.

10. 有两个电阻 1 和 2,它们的阻值随所加电压的变化而改变,从而它们的伏安特性(即电压和电流)不再成正比关系(这种电阻称为非线性电阻).假设电阻 1 和电阻 2 的伏安特性图线分别如图 5 所示.现先将这两个电阻并联,然后接在电动势 $E = 9.0 \text{ V}$ 、内电阻 $r_0 = 2.0 \Omega$ 的电源上.试利用题给的数据和图线在题图中用作图法读得所需的数据,进而分别求出电阻 1 和电阻 2 上消耗的功率 P_1 和 P_2 .要求:

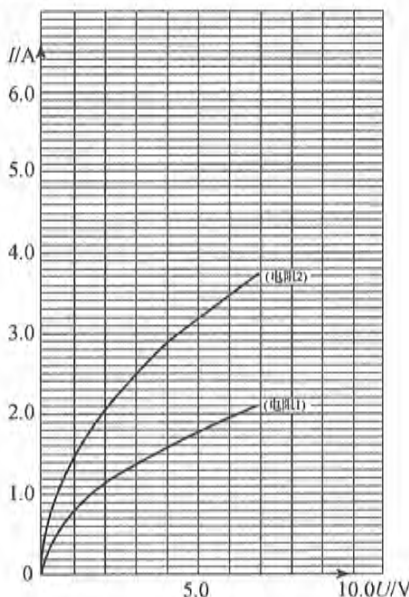


图 5

(i) 在题图上画出所作的图线.(不要求写出画图步骤及理由.)

(ii) 从图上读下所需物理量的数据(取二位有效数字),分别是:_____.

(iii) 求出电阻 1 消耗的功率 $P_1 =$ _____, 电阻 2 消耗的功率 $P_2 =$ _____.

三、计算题(计算题的解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤,只写出最后结果的不能得分.有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位.)

11. 宇航员从空间站(绕地球运行)上释放了一颗质量 $m = 500 \text{ kg}$ 的探测卫星.该卫星通过一条柔软的细轻绳与空间站连接,稳定时卫星始终在空间站的正下方,到空间站的距离 $l = 20 \text{ km}$.已知空间站的轨道为圆形,周期 $T = 92 \text{ min}$ (分).

- (i) 忽略卫星拉力对空间站轨道的影响,求卫星所受轻绳拉力的大小.
- (ii) 假设某一时刻卫星突然脱离轻绳.试计算此后卫星轨道的近地点到地面的高度、远地点到地面的高度和卫星运行周期.

取地球半径 $R = 6.400 \times 10^3 \text{ km}$,地球同步卫星到地面的高度为 $H_0 = 3.6000 \times 10^4 \text{ km}$,地球自转周期 $T_0 = 24 \text{ 小时}$.

12. 某同学选了一个倾角为 θ 的斜坡,他骑在自行车上刚好能在不踩踏板的情况下让自行车沿斜坡匀速向下行驶.现在他想估测沿此斜坡向上匀速行驶时的功率,为此他数出在上坡过程中某一只脚踏踏板的圈数 N (设不间断地匀速蹬),并测得所用的时间 t ,再测得下列相关数据(参见图 6):自行车和人的总质量 m 、轮盘半径 R_1 、飞轮半径 R_2 、车后轮半径 R_3 .试导

出估测功率的表达式. 已知: 上、下坡过程中斜坡及空气作用于自行车的阻力大小相等; 不论是在上坡还是下坡过程中, 车轮与坡面接触处都无滑动. 不计自行车内部各部件之间因相对运动而消耗的能量.

13. 电荷量为 q 的正电荷, 均匀分布在由绝缘材料制成的质量为 m 、半径为 R 的均匀细圆环上, 现设法加外力使圆环从静止开始, 绕着通过环心垂直于环面的轴线作匀加速转动. 试求从开始转动到环的角速度达到某一值 ω_0 的整个过程中外力所做的功. 已知: 转动带电圆环的等效电流为 I 时, 等效电流产生的磁场对整个以圆环为周界的圆面的磁通量 $\Phi = kI$, k 为一已知常量. 不计电荷作加速运动所产生的辐射效应.

14. 如图 7 所示, 一个木块位于光滑的水平桌面上, 木块上固连一支架, 木块与支架的总质量为 M . 一个摆球挂于支架上, 摆球的质量为 m ($m < M/2$), 摆线的质量不计. 初始时, 整个装置处于静止状态. 一个质量为 m 的子弹以大小为 v_0 、方向垂直于图面向里的速度射入摆球并立即停留在球内, 摆球和子弹便一起开始运动. 已知摆线最大的偏转角小于 90° , 在小球往返运动过程中摆线始终是拉直的, 木块未发生转动.

(i) 求摆球上升的最大高度.

(ii) 求木块的最大速率.

(iii) 求摆球在最低处时速度的大小和方向.

15. 图 8 中坐标原点 $O(0, 0)$ 处有一个带电粒子源, 向 $y \geq 0$ 一侧沿 Oxy 平面内的各个不同方向发射带正电的粒子, 粒子的速率都是 v , 质量均为 m , 电荷量均为 q . 有人设计了一个方向垂直于 Oxy 平面、磁感应强度的大小为 B 的均匀磁场区域, 使上述所有带电粒子从该磁场区域的边界射出时, 均能沿 x 轴正方向运动. 试求出此边界线的方程, 并画出此边界线的示意图.

16. 在海面上有三艘轮船, 船 A 以速度 u 向正东方向航行, 船 B 以速度 $2u$ 向正北方向航行, 船 C 以速度 $2\sqrt{2}u$ 向东偏北 45° 方向航行. 在某一时刻, 船 B 和 C 恰好同时经过船 A 的航线并位于船 A 的前方, 船 B 到船 A 的距离为 a , 船 C 到船 A 的距离为 $2a$. 若以此时刻作为计算时间的零点, 求在 t 时刻 B, C 两船间距离的中点 M 到船 A 的连线 MA 绕 M 点转动的角速度.

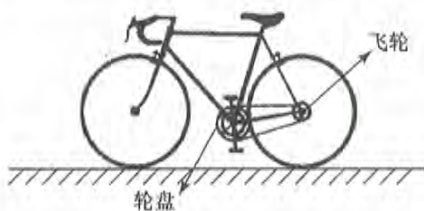


图 6

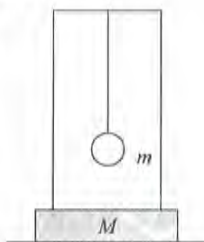


图 7

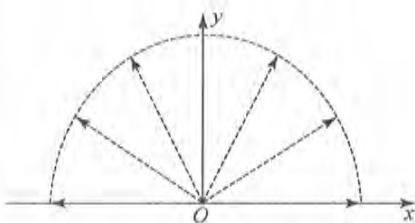


图 8

参考解答

一、

1. C 2. C 3. B, C 4. A 5. D

二、

6. 2.5 m

7. $\frac{3}{5} s$

$$8. \frac{ke^2}{E_K - E_{Cl}}, 2.0 \times 10^{-9}.$$

9. 9

10. (i) 如图9所示.

(ii) 并联电阻两端的电压 $U_0 = 2.3 \text{ V}$, 通过电阻1的电流 $I_{10} = 1.2 \text{ A}$, 通过电阻2的电流 $I_{20} = 2.2 \text{ A}$.

(iii) 2.8 W , 4.9 W

三、

11. (i) 设空间站离地面的高度为 H , 因为同步卫星的周期和地球自转周期相同, 根据开普勒第三定律以及题意有

$$\frac{(R+H)^3}{(R+H_0)^3} = \frac{T^2}{T_0^2}, \quad (1)$$

即

$$H = (R+H_0) \left(\frac{T}{T_0} \right)^{2/3} - R, \quad (2)$$

代入数据得

$$H = 376 \text{ km}, \quad (3)$$

卫星的高度

$$h = H - l = 356 \text{ km}. \quad (4)$$

卫星在细绳的拉力 F 和地球引力作用下跟随空间站一起绕地球作周期为 T 的圆周运动, 有

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} - F = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h), \quad (5)$$

式中 G 为万有引力常量, M 为地球质量. 空间站在地球引力作用下绕地球作周期为 T 的圆周运动, 故有

$$G \frac{Mm'}{(R+H)^2} = m' \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+H), \quad (6)$$

式中 m' 为空间站的质量. 由(5), (6)两式得

$$F = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h) \left[\frac{(R+H)^3}{(R+h)^3} - 1 \right]. \quad (7)$$

将(3), (4)式及其他有关数据代入(7)式得

$$F = 38.9 \text{ N}. \quad (8)$$

(ii) 细绳脱落后, 卫星在地球引力作用下绕地球运动的轨道为一椭圆. 在脱落的瞬间, 卫星的速度垂直于卫星与地心的连线, 所以脱落点必是远地点(或近地点), 由(4)式可知, 此点到地面的高度

$$h = 356 \text{ km}. \quad (9)$$

设卫星在近地点(或远地点)的高度为 h' , 速度为 v' , 根据开普勒第二定律, 有

$$(R+h')v' = \frac{2\pi}{T}(R+h)^2. \quad (10)$$

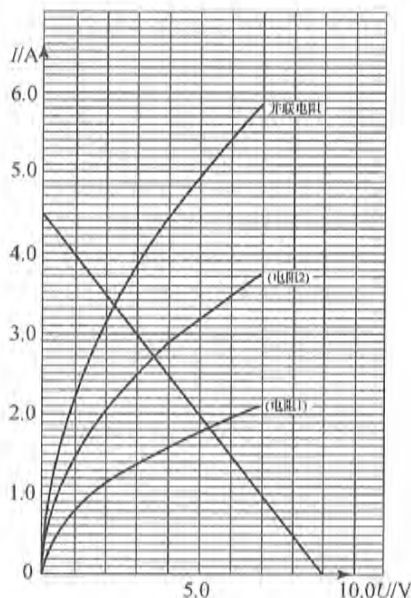


图 9

根据机械能守恒,有

$$\frac{1}{2}mv'^2 - G \frac{Mm}{R+h'} = \frac{1}{2}m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h)^2 - G \frac{Mm}{R+h}, \quad (11)$$

联立(10),(11)两式并利用(6)式得

$$h' = \frac{(R+h)^4}{2(R+H)^3 - (R+h)^3} - R, \quad (12)$$

代入有关数据有

$$h' = 238 \text{ km}. \quad (13)$$

由(9),(13)两式可知,远地点到地面的高度为 356 km,近地点到地面的高度为 238 km.

设卫星的周期为 T' ,根据开普勒第三定律,卫星的周期

$$T' = \left(\frac{2R+h+h'}{2R+2H} \right)^{3/2} T, \quad (14)$$

代入数据得

$$T' = 90.4 \text{ min}. \quad (15)$$

12. 解法一

因为下坡时自行车匀速行驶,可知阻力大小

$$f = mg \sin\theta. \quad (1)$$

由题意,自行车沿斜坡匀速向上行驶时,轮盘的角速度

$$\omega = \frac{2\pi N}{t}. \quad (2)$$

设轮盘边缘的线速度为 v_1 ,由线速度的定义有

$$v_1 = \omega R_1. \quad (3)$$

设飞轮边缘的线速度为 v_2 ,后车轮边缘的线速度为 v_3 ,因为轮盘与飞轮之间用链条连接,它们边缘上的线速度相同,即

$$v_1 = v_2. \quad (4)$$

因飞轮与后车轮的转动角速度相同,故有

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{R_2}{R_3}. \quad (5)$$

因车轮与坡面接触处无滑动,在车后轮绕其中心轴转动一周的时间 T 内,车后轮中心轴前进的路程

$$\Delta s = 2\pi R_3, \quad (6)$$

而

$$T = \frac{2\pi R_3}{v_3}. \quad (7)$$

车后轮的中心轴前进的速度,即自行车行驶速度的大小

$$V = \frac{\Delta s}{T}. \quad (8)$$

由以上有关各式得

$$V = \frac{2\pi N R_1 R_3}{R_2 t}. \quad (9)$$

人骑自行车上坡的功率为克服阻力 f 的功率加上克服重力沿斜面分力的功率,即

$$P = fV + mgV\sin\theta. \quad (10)$$

由(1),(9),(10)式得

$$P = \frac{4mg\pi NR_1 R_3}{R_2 t} \sin\theta. \quad (11)$$

解法二

因下坡时自行车匀速行驶,若自行车出发点的高度为 h ,则克服阻力所做的功 W_f 等于势能的减少,有

$$W_f = mgh. \quad (12)$$

用 s 表示自行车行驶的路程,有

$$h = s\sin\theta. \quad (13)$$

自行车沿斜坡匀速向上行驶时,骑车者所做的功 W ,等于克服阻力的功 W_f 与势能增量 mgh 之和,即

$$W = W_f + mgh. \quad (14)$$

设骑车者蹬踏板 N 圈到达下坡时的出发点,因踏板转 N 圈可使后轮转 NR_1/R_2 圈,所以自行车行驶的距离 s 为

$$s = \frac{NR_1}{R_2} \cdot 2\pi R_3. \quad (15)$$

由(12)~(15)式,得

$$W = \frac{4\pi NR_1 R_3}{R_2} \cdot mg \sin\theta, \quad (16)$$

上式除以所用时间 t ,即得骑车者功率

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4\pi NR_1 R_3}{R_2 t} \cdot mg \sin\theta. \quad (17)$$

13. 当环的角速度到达 ω_0 时,环的动能

$$E_k = \frac{1}{2} m(R\omega_0)^2. \quad (1)$$

若在时刻 t ,环转动的角速度为 ω ,则环上电荷所形成的等效电流

$$I = \frac{q}{2\pi R} R\omega = \frac{\omega q}{2\pi}, \quad (2)$$

感应电动势

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = k \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (3)$$

由(2),(3)式得

$$\varepsilon = k \frac{q}{2\pi} \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (4)$$

环加速转动时,要克服感应电动势做功,功率为

$$P_1 = \varepsilon I. \quad (5)$$

因为是匀加速转动,所以 ω 和 I 都随时间 t 线性增加.若角速度从零开始增加到 ω_0 经历的时间为 t_0 ,则有

$$\omega_0 = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} t_0. \quad (6)$$

解法二

因下坡时自行车匀速行驶,若自行车出发点的高度为 h ,则克服阻力所做的功 W_1 等于势能的减少,有

$$W_1 = mgh. \quad (12)$$

用 s 表示自行车行驶的路程,有

$$h = s \sin \theta. \quad (13)$$

自行车沿斜坡匀速向上行驶时,骑车者所做的功 W ,等于克服阻力的功 W_1 与势能增量 mgh 之和,即

$$W = W_1 + mgh. \quad (14)$$

设骑车者脚踏踏板 N 圈到达下坡时的出发点,因踏板转 N 圈可使后轮转 NR_1/R_2 圈,所以自行车行驶的距离 s 为

$$s = \frac{NR_1}{R_2} \cdot 2\pi R_3. \quad (15)$$

由(12)~(15)式,得

$$W = \frac{4\pi NR_1 R_3}{R_2} \cdot mg \sin \theta, \quad (16)$$

上式除以所用时间 t ,即得骑车者功率

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4\pi NR_1 R_3}{R_2 t} \cdot mg \sin \theta. \quad (17)$$

13. 当环的角速度到达 ω_0 时,环的动能

$$E_k = \frac{1}{2} m (R\omega_0)^2, \quad (1)$$

若在时刻 t ,环转动的角速度为 ω ,则环上电荷所形成的等效电流

$$I = \frac{q}{2\pi R} R\omega = \frac{\omega q}{2\pi}, \quad (2)$$

感应电动势

$$\varepsilon = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = k \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (3)$$

由(2),(3)式得

$$\varepsilon = k \frac{q}{2\pi} \frac{\Delta \omega}{\Delta t}. \quad (4)$$

环加速转动时,要克服感应电动势做功,功率为

$$P_1 = \varepsilon I. \quad (5)$$

因为是匀加速转动,所以 ω 和 I 都随时间 t 线性增加.若角速度从零开始增加到 ω_0 经历的时

间为 t_0 ,则有

$$\omega_0 = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} t_0. \quad (6)$$

若与 ω_0 对应的等效电流为 I_0 , 则在整个过程中克服感应电动势做的总功

$$(7) \quad W_1 = \frac{1}{2} \varepsilon I_0 t_0.$$

由以上有关各式得

$$(8) \quad W_1 = k \frac{\omega_0^2 q^2}{8\pi^2},$$

外力所做的总功

$$(9) \quad W = W_1 + E_k = k \frac{8\pi^2 q^2}{8\pi^2} + \frac{1}{2} m R^2 \omega_0^2.$$

14. (1) 由于子弹射入摆球至停留在球内经历的时间极短, 可以认为在这过程中摆球仅获

得速度但无位移. 设摆球(包括停留在球内的子弹)向前(指垂直于图面向里)的速度为 u , 由动

量守恒定律有

$$(1) \quad m v_0 = 2mu.$$

摆球以速度 u 开始向前摆动, 木块亦发生运动. 当摆球上升至最高时, 摆球相对木块静止, 设此

时木块的速度为 V , 摆球上升的高度为 h , 因水平方向动量守恒以及机械能守恒有

$$(2) \quad 2mu = (2m + M)V,$$

$$(3) \quad mu^2 = \frac{1}{2}(2m + M)V^2 + 2mgh.$$

解(1), (2), (3) 三式得

$$(4) \quad h = \frac{Mv_0^2}{8g(2m + M)}.$$

(ii) 摆球升到最高后相对木块要反向摆动. 因为在摆球从开始运动到摆线返回到竖直位

置前的整个过程中, 摆线作用于支架的拉力始终向斜前方, 它使木块向前运动的速度不断增

大; 摆线经过竖直位置后, 直到摆线再次回到竖直位置前, 摆线作用于支架的拉力将向斜后方,

它使木块速度减小, 所以在摆线(第一次)返回到竖直位置的那一时刻, 木块的速度最大, 方向

向前.

以 V' 表示摆线位于竖直位置时木块的速度(相对桌面), 当 $u' > 0$,

表示其方向水平向前, 反之则水平向后, 因水平方向动量守恒以及机械能守恒, 故有

$$(5) \quad 2mu = 2mu' + MV',$$

$$(6) \quad mu^2 = mu'^2 + \frac{1}{2}MV'^2.$$

解(1), (5), (6) 三式可得摆线位于竖直位置时木块速度的大小

$$(7) \quad V' = 0,$$

$$(8) \quad V' = \frac{2mv_0}{2m + M}.$$

(7) 式对应于子弹射入摆球但木块尚未运动时木块的速度, 它也是摆球在以后相对木块往复

运动过程中摆线每次由后向前经过竖直位置时木块的速度; 而题中要求的木块的最大速率为

(8) 式, 它也是摆球在以后相对木块的往复运动过程中摆线每次由前向后经过竖直位置时木块

的速度.

(iii) 在整个运动过程中, 每当摆线处于竖直位置时, 小球便位于最低处, 当子弹射入摆

球时,摆球位于最低处,设这时摆球的速度为 u ,由(1)式得

$$u = \frac{1}{2}v_0, \quad (9)$$

方向水平向前.当摆球第一次回到最低处时,木块速度最大,设这时摆球的速度为 u' ,由(1),

(5),(6)三式和(8)式可得

$$u' = \frac{m - \frac{1}{2}M}{M + 2m}v_0, \quad (10)$$

其方向向后.

当摆球第二次回到最低处时,由(7)式木块速度减至 0,设这时摆球的速度为 u'' ,由(1),

(5),(6)式可得

$$u'' = u = \frac{1}{2}v_0, \quad (11)$$

方向向前,开始重复初始的运动.

15. 先设磁感应强度为 B 的匀强磁场方向垂直于 Oxy

平面向里,且无边界.考察从粒子源发出的速率为 v ,方向与

x 轴夹角为 θ 的粒子,在磁场的洛伦兹力作用下粒子作圆周

运动;圆轨道经过坐标原点 O ,且与速度方向相切,若圆轨道

的半径为 R ,有

$$qvB = m \frac{v^2}{R}, \quad (1)$$

得

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (2)$$

圆轨道的圆心 O' 在过坐标原点 O 与速度方向垂直的直线上,至原点的距离为 R ,如图 10 所示.通过圆心 O' 作平行于 y 轴的直线与圆轨道交于 P 点,粒子运动到 P 点时其速度方向恰好是沿 x 轴正方向,故 P 点就在磁场区域的边界上.对于不同入射方向的粒子,对应的 P 点的位置不同,所有这些 P 点的连线就是所求磁场区域的边界线. P 点的坐标为

$$x = -R \sin \theta,$$

$$y = -R + R \cos \theta, \quad (3)$$

(4)

这就是磁场区域边界的参数方程,消去参数 θ ,得

$$x^2 + (y + R)^2 = R^2, \quad (5)$$

由(2),(5)式得

$$x^2 + \left(y + \frac{qB}{mv}\right)^2 = \frac{m^2 v^2}{q^2 B^2}, \quad (6)$$

这是半径为 R 、圆心 O' 的坐标为 $(0, -R)$ 的圆,作为题所

要求的磁场区域的边界线,应如图 11 所示的半个圆周,

故磁场区域的边界线的方程为

$$x^2 + \left(y + \frac{qB}{mv}\right)^2 = \frac{m^2 v^2}{q^2 B^2}, \quad x \leq 0, y \leq 0. \quad (7)$$

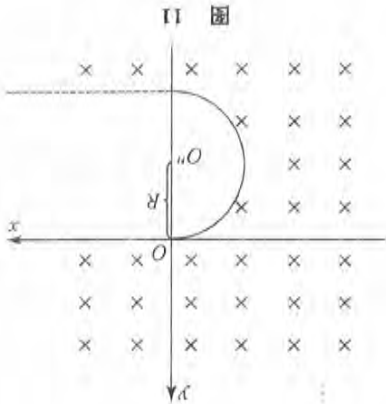


图 11

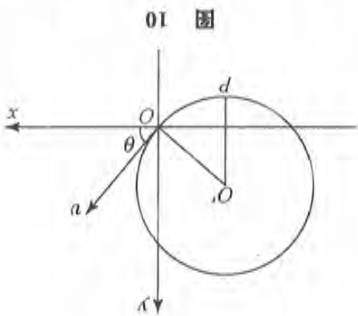


图 10

若磁场方向垂直于 Oxy 面向外, 则磁场的边界线为如图 12 所示的半圆, 磁场区域的边界线的方程为

$$x^2 + (y - R)^2 = R^2, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0, \quad (8)$$

或

$$x^2 + \left(y - \frac{qB}{mv}\right)^2 = \frac{m^2 v^2}{q^2 B^2}, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0. \quad (9)$$

证明同前.

16. 以 $t=0$ 时刻船 A 所在的位置为坐标原点 O , 作如图 13

所示平面直角坐标系 Oxy , x 轴指向正东, y 轴指向正北. 可以把船 C 的速度分解成沿正东方向的分速度 v_x 和沿正北方向的分速度 v_y 两个分量, 根据题意有

$$v_x = v_y = 2u. \quad (1)$$

在 t 时刻, 三船的位置如图 13 所示, B, C 二船在 y 轴方向

位移相等, 两船的连接线 BC 与 x 轴平行, 两船间的距离

$$BC = a + 2wt. \quad (2)$$

BC 的中点 M 到 B 的距离为 $\frac{1}{2}a + wt$, 中点 M 的坐标分

别为

$$x_M = a + \frac{1}{2}a + wt = \frac{3}{2}a + wt, \quad (3)$$

$$y_M = 2wt, \quad (4)$$

可见 M 点沿 x 轴方向的速度为 u , 沿 y 轴方向的速度为 $2u$, 在 $t=0$ 时刻 BC 的中点在 x 轴

上, 其 x 坐标为 $\frac{3}{2}a$.

在与 M 点固连的参考系中考察, 并建立以 M 为原点的直角坐标系 $Mx'y'$, x' 轴与 x 轴平

行, y' 轴与 y 轴平行, 则相对 M, 船 A 的速度只有沿负 y' 轴方向的分量, 有

$$u_{AMx'} = u_{AMy'} = -2u. \quad (5)$$

在时刻 t , 船 A 在坐标系 $Mx'y'$ 的坐标为

$$x'_A = -\frac{3}{2}a, \quad (6)$$

$$y'_A = u_{AM}t. \quad (7)$$

可以把 A 船的速度分解为沿连线 MA 方向的分量

u_{AM1} 和垂直于连线 MA 方向的分量 u_{AM2} 两个分量,

u_{AM1} 使连线 MA 的长度增大, u_{AM2} 使连线 MA 的方向

改变, 如图 14 所示. 若用 R 表示 t 时刻连线 MA 的长

度, 则连线 MA 绕 M 点转动的角速度

$$\omega = \frac{u_{AM2}}{R}. \quad (8)$$

若 MA 与 x' 轴的夹角为 θ , 则有

$$u_{AM2} = u_{AM} \cos \theta, \quad (9)$$

图 14

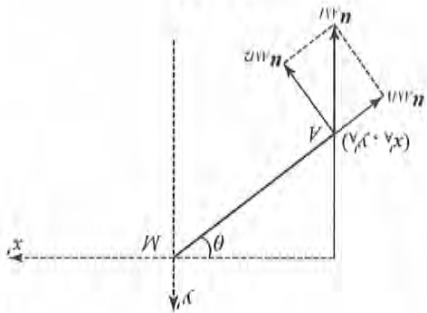


图 12

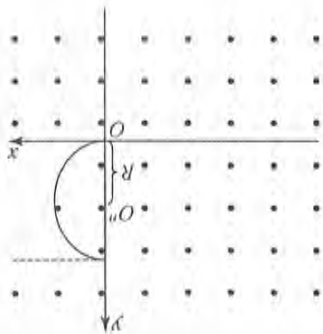
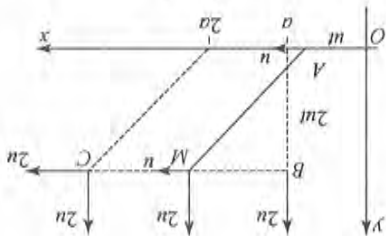


图 13



而

由(5)~(10)式得

$$\cos\theta = \frac{|x_A'|}{R} \quad (10)$$

$$R = \sqrt{x_A'^2 + y_A'^2} \quad (11)$$

$$\omega = \frac{12au}{9a^2 + 16u^2t^2} \quad (12)$$

复赛试题及参考解答

试 题

一、如图15所示,哈雷彗星绕太阳S沿椭圆轨道逆时针方向运动,其周期T为76.1年.

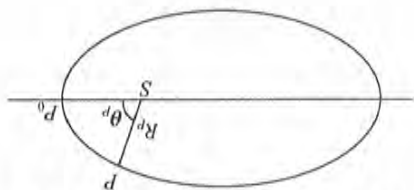


图 15

1986年它过近日点 P_0 时,与太阳S的距离 $r_0 = 0.590 \text{ AU}$,AU是天文单位,它等于地球与太阳的平均距离.经过一段时间,彗星到达轨道上的P点,SP与 SP_0 的夹角 $\theta_p = 72.0^\circ$.已知: $1 \text{ AU} = 1.50 \times 10^{11} \text{ m}$,引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$,太阳质量 $m_s = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$.试求P到太阳S的距离 r_p 及彗星过P点时速度的大小和方向(用速度方向与 SP_0 的夹角表示).

二、质量均匀分布的刚性杆AB,CD如图16放置,A点与水平地面接触,与地面间的静摩擦系数为 μ_A ,B,D两点与光滑垂直墙面接触,杆AB和CD接触处的静摩擦系数为 μ_C ,两杆的质量均为m,长度均为l.

1. 已知系统平衡时AB杆与墙面夹角为 θ ,求CD杆与墙面的夹角 α 应满足的条件(用 α 及已知量满足的方程式表示).

2. 若 $\mu_A = 1.00$, $\mu_C = 0.866$, $\theta = 60.0^\circ$,求系统平衡时 α 的取值范围(用数值计算求出).

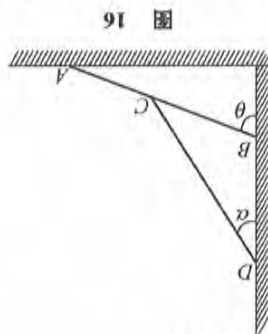


图 16

三、在人造卫星绕星球运行的过程中,为了保持其对称转轴稳定在规定向,一种最简单

的办法就是让卫星在其运行过程中同时绕自身的对称轴旋转.但有时为了改变卫星的指向,又要求减慢或者消除卫星的旋转.减慢或者消除卫星旋转的一种方法所谓“YO-YO”消旋法,

其原理如图17所示.

设卫星是一半径为R、质量为M的薄壁圆筒,其横截面如图

所示,图中O是圆筒的对称轴.两条足够长的不可伸长的结实的长度相等的轻绳的一端分别固定在圆筒表面上的Q,Q'(位于圆

筒直径两端)处,另一端各拴有一质量为 $\frac{m}{2}$ 的小球,正常情况下,

绳绕在圆筒外表面上,两小球用插销分别锁定在圆筒表面上的 P_0, P_0' 处,与卫星形成一体,绕卫星的对称轴旋转.卫星自转的角

速度为 ω_0 .若要卫星减慢或停止旋转(消旋),可瞬间撤去插销释

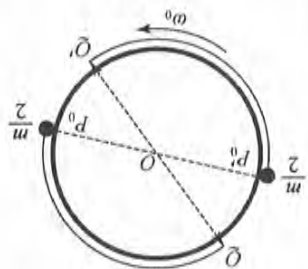


图 17

放小球,让小球从圆筒表面甩开,在甩开的整个过程中,从绳与圆筒表面相切点到小球的那段绳都是拉直的.当卫星转速逐渐减小到零时,立即使绳与卫星脱离,解除小球与卫星的联系,于是卫星转动停止.已知此时绳与圆筒的相切点刚好在 Q, Q' 处.

1. 求当卫星角速度减至 ω 时绳拉直部分的长度 l .
2. 求绳的总长度 L .
3. 求卫星从 ω_0 到停转所经历的时间 t_s .

四、空间某区域存在匀强电场和匀强磁场,在此区域建立直角坐标

系 $Oxyz$,如图18所示.匀强电场沿 x 轴方向,电场强度 $E_1 = E_0 i$;匀强磁场沿 z 轴方向,磁感应强度 $B = B_0 k, E_0, B_0$ 为已知常量, i, k 分别为 x 轴

方向和 z 轴方向的单位矢量.

1. 有一束带电量为正 q 、质量都为 m 的粒子,同时从 Oyz 平面内的某点射出,它们的初速度均在 Oyz 平面内,速度的大小和方向各不相同,问经过多长时间这些粒子又能同时回到 Oyz 平面内.

2. 现在该区域内再增加一个沿 z 轴方向的不随时间变化的匀强电场,电场强度为 E_2 .若有一电荷量为正 q 、质量为 m 的粒子,在 $t=0$ 时刻从坐标原点 O 射出,初速度 v_0 在 Oyz 平面

内,试求以后此粒子的坐标随时间变化的规律.

不计粒子所受重力以及各带电粒子之间的相互作用,也不考虑变化的电场产生的磁场.

五、半导体pn结太阳能电池是根据光生伏打效应工作的.当有

光照射pn结时,pn结两端会产生电势差,这就是光生伏打效应.如图

19所示,当pn结两端接有负载时,光照使pn结内部产生由负极

指向正极的电流即光电流,照射光的强度恒定时,光电流是恒定的,

已知该光电流为 I_L ;同时,pn结又是一个二极管,当有电流通过负载

时,负载两端的电压 V 使二极管正向导通,其电流为 $I_D = I_0(e^{V/V_T} - 1)$,

式中 V_T 和 I_0 在一定条件下均为已知常数.

1. 在照射光的强度不变时,通过负载的电流 I 与负载两端的电

压 V 的关系是 $I =$ _____,太阳能电池的短路电流 $I_s =$ _____,开路电压 $V_{oc} =$

_____.负载获得的功率 $P =$ _____.

2. 已知一硅pn结太阳能电池的 $I_L = 95 \text{ mA}, I_0 = 4.1 \times 10^{-9} \text{ mA}, V_T = 0.026 \text{ V}$.则此太阳

能电池的开路电压 $V_{oc} =$ _____.若太阳能电池输出功率最大时,负载两端的电压可近

似表示为 $V_{mp} = V_T \ln \frac{1 + (I_L/I_0)}{1 + (V_{oc}/V_T)}$,则 $V_{mp} =$ _____.太阳能电池输出的最大功率

$P_{max} =$ _____.若负载为欧姆电阻,则输出最大功率时,负载电阻 $R =$ _____.

六、图20所示为圆柱形气缸,气缸壁绝热,气缸的右端

有一小孔与大气相通,大气的压强为 p_0 .用一热容量可忽略

的导热隔板 N 和一绝热活塞 M 将气缸分为A、B、C三室,隔

板与气缸固定,活塞相对气缸可以无摩擦地移动但不漏气.

气缸的左端A室中有一电加热器 Ω .已知在A、B室中均盛有

1 mol 同种理想气体,电加热器加热前,系统处于平衡状态,A、B两室中气体的温度均为 T_0 ,且A、B、C三室的体积均为 V_0 .现通过电加热器对A室中气体缓慢加热,若提供的总热量为 Q_0 ,

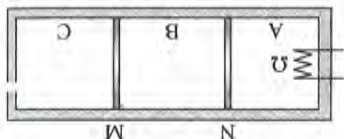


图 20

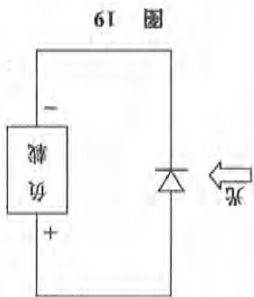
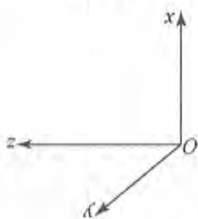


图 19

图 18



试求B室中气体末态体积和A室中气体的末态温度。

设A、B两室中气体1mol的内能为 $U=5RT/2$,式中R为普适气体常量,T为绝对温度。

七、如图21所示,L是一个焦距为2R的薄凸透镜,MN为其主光轴,在L的右侧与它共轴地放置两个半径皆为R的很薄的球面镜A和B,每个球面镜的凹面和凸面都是能反光的。A、B顶点间的距离为 $3R/2$ 。在B的顶点C处开有一个透光的小圆孔(圆心为C),圆孔的直径为h,现于凸透镜L左方距L为6R处放一个与主光轴垂直的高度也为h($h \ll R$)的细短杆PQ(P点在主轴上),PQ发出的光经L后,其中一部分穿过B上的小圆孔正好成像在球面镜A的顶点D处,形成物PQ的像I,则

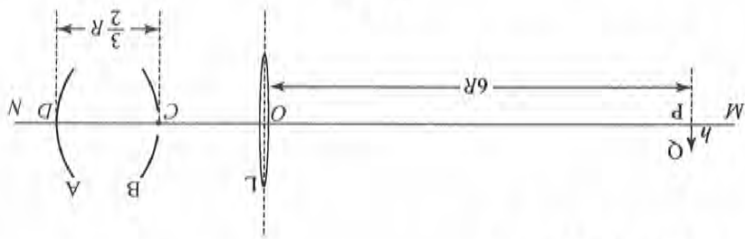


图 21

1. 像I与透镜L的距离等于_____。

2. 形成像I的光线经A反射,直接通过小孔后经L所成的像 I_1 与透镜L的距离等

于_____。

3. 形成像I的光线经A反射,再经B反射,再经A反射,最后通过L成像为 I_2 ,将 I_2 的有

关信息填在下表中:

I_2 与L的距离	I_2 在L左方还是右方	I_2 的大小	I_2 是正立还是倒立	I_2 是实像还是虚像
-------------	----------------	-----------	---------------	---------------

4. 物PQ发出的光经L后未进入B上小圆孔C的那一部分光最后通过L成像为 I_3 ,将 I_3 的有

关信息填在下表中:

I_3 与L的距离	I_3 在L左方还是右方	I_3 的大小	I_3 是正立还是倒立	I_3 是实像还是虚像
-------------	----------------	-----------	---------------	---------------

八、有一个核反应其反应式为 ${}^1_0n + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H}$,反应中所有粒子的速度均远小于光速。

试问:

1. 它是吸能反应还是放能反应,反应能Q为多少?

2. 在该核反应中,若 ${}^1_1\text{H}$ 静止,入射质子的动能 T_n 为多少? 阈值是使该核反应能够发生

的入射粒子的最小动能(相对实验室参考系)。

3. 已知在上述反应中入射质子的动能为1.21 MeV,若所产生中子的出射方向与质子的

入射方向成 60.0° 角,则该中子的动能 T_n 为多少?

已知 1_0n , ${}^3_1\text{H}$ 核, ${}^4_2\text{He}$ 核, ${}^1_1\text{H}$ 核的静止质量分别为: $m_p=1.007276\text{u}$, $m_n=1.008665\text{u}$, $m_{\text{He}}=3.015501\text{u}$, $m_{\text{H}}=3.014932\text{u}$ 是原子质量单位,1u对应的能量为931.5 MeV。

结果取三位有效数字。

参 考 解 答

一、解法一

取直角坐标系 Oxy , 原点 O 位于椭圆的中心, 则哈雷彗星的椭圆轨道方程为

$$(1) \quad \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

其中 a, b 分别为椭圆的半长轴和半短轴, 太阳 S 位于椭圆的一个焦点处, 如图 22 所示.

以 T_e 表示地球绕太阳运动的周期, 则 $T_e = 1.00$ 年; 以 a_e 表示地球到太阳的距离(认为地

球绕太阳作圆周运动), 则 $a_e = 1.00$ AU, 根据开普勒第三定

律, 有

$$(2) \quad \frac{a^3}{T^2} = \frac{T_e^3}{T_e^2}.$$

设 c 为椭圆中心到焦点的距离, 由几何关系得

$$(3) \quad c = a - r_0,$$

$$(4) \quad b = \sqrt{a^2 - c^2}.$$

由图 22 可知, P 点的坐标

$$(5) \quad x = c + r_p \cos \theta_p,$$

$$(6) \quad y = r_p \sin \theta_p.$$

把(5), (6)式代入(1)式化简得

$$(7) \quad (a^2 \sin^2 \theta_p + b^2 \cos^2 \theta_p) r_p^2 + 2b^2 c r_p \cos \theta_p + b^2 c^2 - a^2 b^2 = 0,$$

根据求根公式可得

$$(8) \quad r_p = \frac{b^2(a - c \cos \theta_p)}{a^2 \sin^2 \theta_p + b^2 \cos^2 \theta_p}.$$

由(2), (3), (4), (8)各式并代入有关数据得

$$(9) \quad r_p = 0.896 \text{ AU}.$$

可以证明, 彗星绕太阳作椭圆运动的机械能为

$$(10) \quad E = -\frac{Gmm_s}{2a},$$

式中 m 为彗星的质量, 以 v_p 表示彗星在 P 点时速度的大小, 根据机械能守恒定律有

$$(11) \quad \frac{1}{2}mv_p^2 + \left(-\frac{Gmm_s}{r_p}\right) = -\frac{Gmm_s}{2a},$$

得

$$(12) \quad v_p = \sqrt{Gm_s} \cdot \sqrt{\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a}},$$

代入有关数据得

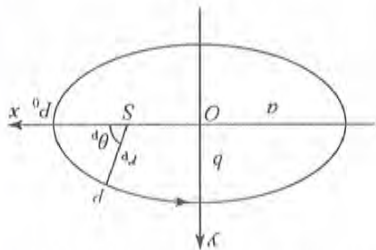
$$(13) \quad v_p = 4.39 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

设 P 点速度方向与 SP_0 的夹角为 φ (见图 23), 根据开普勒第二定律

$$(14) \quad r_p v_p \sin(\varphi - \theta_p) = 2a^2,$$

其中 a 为面积速度, 并有

图 22



$$\sigma = \frac{\pi ab}{T} \quad (15)$$

由(9),(13),(14),(15)式并代入有关数据可得

$$\varphi = 127^\circ \quad (16)$$

解法二

取极坐标,极点位于太阳S所在的焦点处,由S

引向近日点的射线为极轴,极角为 θ ,取逆时针为正

向,用 r, θ 表示彗星的椭圆轨道方程为

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta} \quad (17)$$

其中 e 为椭圆偏心率, p 是过焦点的半正焦弦,若椭圆的半长轴为 a ,根据解析几何可知

$$p = a(1 - e^2) \quad (18)$$

将(18)式代入(17)式可得

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos \theta} \quad (19)$$

以 T_e 表示地球绕太阳运动的周期,则 $T_e = 1.00$ 年;以 a_e 表示地球到太阳的距离(认为地

球绕太阳作圆周运动),则 $a_e = 1.00$ AU,根据开普勒第三定律,有

$$\frac{a_e^3}{T_e^2} = \frac{a^3}{T^2} \quad (20)$$

在近日点 $\theta = 0$,由(19)式可得

$$e = 1 - \frac{r_0}{a} \quad (21)$$

将 θ, a, e 的数据代入(19)式即得

$$r_e = 0.895 \text{ AU} \quad (22)$$

可以证明,彗星绕太阳作椭圆运动的机械能

$$E = -\frac{Gmm_s}{2a}, \quad (23)$$

式中 m 为彗星的质量,以 v_p 表示彗星在P点时速度的大小,根据机械能守恒定律有

$$\frac{1}{2}mv_p^2 + \left(-\frac{Gmm_s}{r_p}\right) = -\frac{Gmm_s}{2a}, \quad (24)$$

可得

$$v_p = \sqrt{Gm_s} \cdot \sqrt{\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a}}, \quad (25)$$

代入有关数据得

$$v_p = 4.39 \times 10^4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \quad (26)$$

设P点速度方向与极轴的夹角为 φ ,彗星在近日点的速度为 v_0 ,再根据角动量守恒定

律,有

$$r_p v_p \sin(\varphi - \theta_p) = r_0 v_0, \quad (27)$$

根据(24)式,同理可得

$$v_0 = \sqrt{Gm_s} \cdot \sqrt{\frac{2}{r_0} - \frac{1}{a}} \quad (28)$$

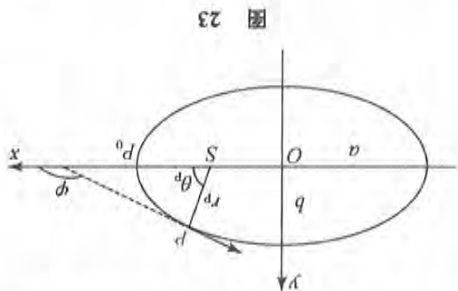


图 23

由(22),(26),(27),(28)式并代入其他有关数据,得

$$\varphi = 127^\circ, \quad (29)$$

二、1. 建立如24图所示坐标系 Oxy . 两杆的受力情况

如图:

f_1 为地面作用于杆 AB 的摩擦力, N_1 为地面对杆 AB

的支持力, f_2, N_2 分别为杆 AB 作用于杆 CD 的摩擦力和

的支持力, N_3, N_4 分别为墙对杆 AB 和 CD 的作用力, mg 为

重力. 取杆 AB 和 CD 构成的系统为研究对象, 系统平衡

时, 由平衡条件有

$$N_4 + N_3 - f_1 = 0, \quad (1)$$

$$N_1 - 2mg = 0, \quad (2)$$

以及对 A 点的力矩

$$\frac{1}{2} mgl \sin \theta + mg \left(l \sin \theta - \frac{1}{2} l \sin \alpha \right) - N_3 l \cos \theta - N_4 (l \cos \theta + l \cos \alpha - CF) = 0,$$

即

$$\frac{3}{2} mgl \sin \theta - \frac{1}{2} mgl \sin \alpha - N_3 l \cos \theta - N_4 (l \cos \theta + l \cos \alpha - CF) = 0, \quad (3)$$

式中 CF 待求, F 是过 C 的竖直线与过 B 的水平线的交点, E 为 BF 与 CD 的交点. 由几何关

系有

取杆 CD 为研究对象, 由平衡条件有

$$N_4 + N_2 \cos \theta - f_2 \sin \theta = 0, \quad (5)$$

$$N_2 \sin \theta + f_2 \cos \theta - mg = 0, \quad (6)$$

以及对 C 点的力矩

$$N_4 l \cos \alpha - \frac{1}{2} mgl \sin \alpha = 0. \quad (7)$$

解以上各式可得

$$N_4 = \frac{1}{2} mg \tan \alpha, \quad (8)$$

$$N_3 = \left(\frac{3}{2} \tan \theta - \frac{1}{2} \tan \alpha - \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \tan \alpha \sin \alpha \right) mg, \quad (9)$$

$$f_1 = \left(\frac{3 \tan \theta}{2} - \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} + \frac{1}{2} \tan \alpha \sin \alpha + \frac{1}{2} \sin \theta \right) mg, \quad (10)$$

$$N_1 = 2mg, \quad (11)$$

$$N_2 = \left(\sin \theta - \frac{1}{2} \tan \alpha \cos \theta \right) mg, \quad (12)$$

$$f_2 = \left(\cos \theta + \frac{1}{2} \tan \alpha \sin \theta \right) mg, \quad (13)$$

CD 杆平衡的必要条件为

$$f_2 \leq \mu_c N_2. \quad (14)$$

由(12),(13),(14)式得

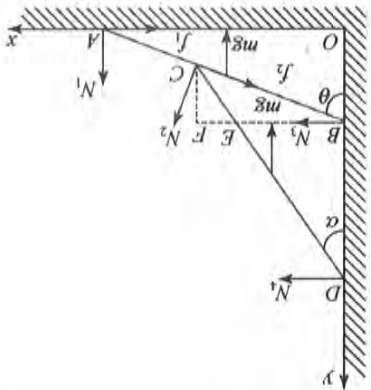


图 24

AB杆平衡的必要条件为

$$\tan\alpha \leq \frac{2(\mu_c \sin\theta - \cos\theta)}{\mu_c \cos\theta + \sin\theta}, \quad (15)$$

$$(16)$$

$$f_1 \leq \mu_A N_1.$$

由(10), (11), (16)式得

$$(17)$$

$$\frac{\tan\alpha \sin\alpha}{2 \sin\alpha} - \frac{\sin\theta}{\cos\theta} \leq 4\mu_A - 3 \tan\theta.$$

因此,使系统平衡, α 应满足的条件为(15)和(17)式.

2. 将题给的数据代入(15)式可得

$$(18)$$

$$\alpha \leq \arctan 0.385 = 21.1^\circ,$$

将题给的数据代入(17)式,经数值计算可得

$$(19)$$

$$\alpha \geq 19.5^\circ,$$

因此, α 的取值范围为

$$19.5^\circ \leq \alpha \leq 21.1^\circ. \quad (20)$$

三、解法一

1. 设在时刻 t , 小球和圆筒的运动状态如图 25 所示,

小球位于 P 点, 绳与圆筒的切点为 T , P 到 T 的距离即绳

的拉直部分的长度为 l , 圆筒的角速度为 ω , 小球的速度为

v . 小球的速度可以分解成沿着绳子方向的速度 v_1 和垂直

于绳子方向的速度 v_2 两个分量. 根据机械能守恒定律和角

动量守恒定律有

$$\frac{1}{2} M(R\omega_0)^2 + \frac{1}{2} m(R\omega)^2 = \frac{1}{2} M(R\omega)^2 + \frac{1}{2} m(v_1^2 + v_2^2), \quad (1)$$

$$MR^2\omega_0 + mR^2\omega = MR^2\omega + mRv_1 + mlv_2. \quad (2)$$

因为绳子不可伸长, v_1 与切点 T 的速度相等, 即

$$v_1 = R\omega. \quad (3)$$

解(1), (2), (3)式得

$$\omega = \frac{(M+m)R^2 - ml^2\omega_0}{(M+m)R^2 + ml^2\omega_0}, \quad (4)$$

$$v_2 = \frac{2(M+m)R^2 l}{(M+m)R^2 + ml^2\omega_0} \omega_0. \quad (5)$$

由(4)式可得

$$l = R\sqrt{\frac{M+m}{\omega_0 - \omega} \left(\frac{\omega_0 + \omega}{\omega_0 + \omega} \right)}, \quad (6)$$

这便是在卫星角速度减至 ω 时绳的拉直部分的长度 l .

2. 由(6)式, 当 $\omega=0$ 得

$$L = R\sqrt{\frac{M+m}{m}}, \quad (7)$$

这便是绳的总长度 L .

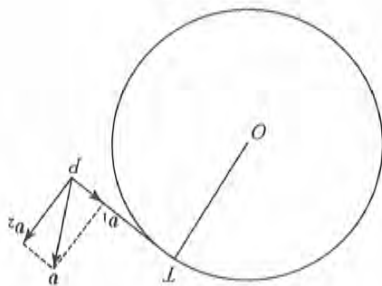


图 25

3. 如图 26 所示, 从时刻 t 到 $t + \Delta t$, 切点 T 跟随圆筒转过一角度 $\Delta\theta_1 = \omega\Delta t$, 由于绳子的拉直部分的长度增加了 Δl , 切点相对圆筒又转过一角度 $\Delta\theta_2 = \frac{R}{l}\Delta l$, 到达 T' 处, 所以在 Δt 时间内, 切点转过的角度

$$\Delta\theta = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_2 = \omega\Delta t + \frac{R}{l}\Delta l \quad (8)$$

切点从 T 变到 T' 也使切线方向改变了一个同样的角度 $\Delta\theta$, 而切线方向的改变是小球具有垂直于绳子方向的速度 v_2 引起的, 故有

$$\Delta\theta = \frac{v_2}{l}\Delta t \quad (9)$$

由(1), (2), (3)式可得

$$v_2 = l(\omega_0 + \omega), \quad (10)$$

由(8), (9), (10)式得

$$\Delta l = R\omega_0\Delta t, \quad (11)$$

(11)式表示 l 随 t 均匀增加, 故 l 由 0 增加到 L 所需的时间为

$$t_s = \frac{L}{\omega_0 R} = \frac{1}{\omega_0} \sqrt{\frac{M+m}{m}} \quad (12)$$

解法二

1. 撤去插销后两个小球的运动情况相同, 故可取一个小球作为对象进行研究, 先研究任何时刻小球的速度.

在 t 时刻, 相对卫星系统质心参考系小球运动状态如图 27

所示, 绳子的拉直部分与圆筒面的切点为 T , 小球到切点 T 的距离即绳的拉直部分的长度为 l , 小球到转轴 O 的距离为 r , 圆筒的角速度为 ω . 由于圆筒的转动和小球相对圆筒的运动, 绳将展开, 切点位置和绳的拉直部分的长度都要改变.

首先考察小球相对于圆筒的运动. 在 t 时刻, OT 与固定在圆筒上的半径 OP_0 的夹角为 ϕ , 如图 28 所示. 由于小球相对圆筒的

运动, 经过时间 Δt , 切点从圆筒上的 T 点移到 T' 点, OT' 与 OP_0 的夹角变为 $\phi + \Delta\phi$, 绳的拉直部分的长度由 l 变为 l' , 小球由 P 运动到 P' , $\overrightarrow{PP'}$ 便是小球相对圆筒的位移. 当 Δt 很小时 $l \approx l'$, 故

$$|\overrightarrow{PP'}| = l'\Delta\phi \approx l\Delta\phi,$$

于是小球相对圆筒的速度大小为

$$v_2 = l \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = l\omega_2, \quad (13)$$

方向垂直于 TP . ω_2 是切点相对圆筒转动的角速度.

再考察圆筒相对质心参考系的转动, 即与圆筒固连在一起的转动参考系相对质心参考系的运动. 当圆筒的角速度为 ω 时, 位于转动参考系中的 P 点(小球所在处)相对质心参考系的速度

$$v_m = r\omega,$$

(14)

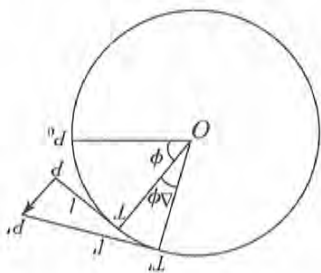


图 27

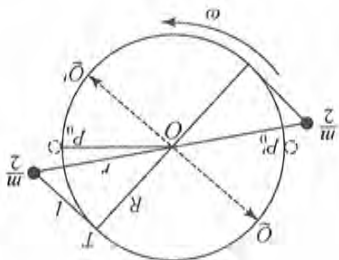
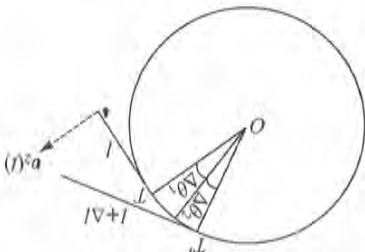


图 26



方向垂直于OP, 可以把 v_0 分解成沿着TP方向的分量 v_{01} 和垂直TP方向的分量 v_{02} , 如图29所示, 即

$$v_{01} = R\omega, \quad (15)$$

$$v_{02} = l\omega. \quad (16)$$

小球相对质心的速度 v 是小球相对圆筒的速度和圆筒参考系中的P点相对质心速度的合成, 由图29

可得 v 的大小

$$v = \sqrt{v_{01}^2 + (v_{02} + v_0^2)^2}. \quad (17)$$

因

$$l = R\phi, \quad (18)$$

故有

$$v = R\sqrt{\omega^2 + (\omega + \omega_0)^2 \phi^2}. \quad (19)$$

因为系统不受外力作用, 故系统的动能和角动量守恒, 故有

$$\frac{1}{2}M(R\omega_0)^2 + \frac{1}{2}mR^2\omega_0^2 = \frac{1}{2}M(R\omega)^2 + \frac{1}{2}mv^2, \quad (20)$$

$$MR^2\omega_0 + mR^2\omega_0 = MR^2\omega + mRv_{01} + ml(v_{02} + v_0). \quad (21)$$

由(19), (20)式有

$$\omega_0^2 = \omega^2 + \frac{M+m}{m}(\omega + \omega_0)^2 \phi^2, \quad (22)$$

由(13), (15), (16), (18), (21)各式得

$$\omega_0 = \omega + \frac{M+m}{m}\phi^2(\omega + \omega_0), \quad (23)$$

由(22), (23)两式得

$$\omega_0 + \omega = \omega + \omega_0,$$

故有

$$\omega_0 = \omega. \quad (24)$$

上式说明绳子与圆筒的切点相对圆筒转动的角速度等于卫星的初始角速度, 是一个恒量, 将

(24)式代入(23)式得

$$\phi = \sqrt{\frac{M+m}{m}(\omega_0 + \omega)}, \quad (25)$$

由(18), (25)两式得

$$l = R\sqrt{\frac{M+m}{m}(\omega_0 + \omega)}, \quad (26)$$

这便是在卫星角速度减至 ω 时绳的拉直部分的长度 l .

2. 由(26)式, 当 $\omega=0$ 时得绳总长度, 即

$$L = R\sqrt{\frac{M+m}{m}}. \quad (27)$$

(27)

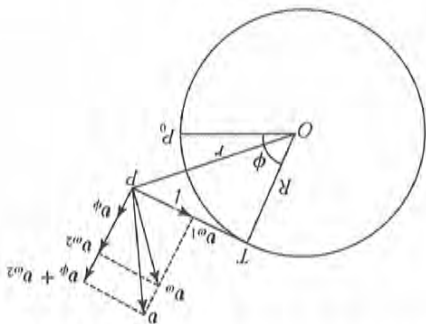


图 29

3. 因 ω_s 是一个恒量, ϕ 随时间 t 的变化规律为

$$(28) \quad \phi = \omega_0 t.$$

当 $\omega = 0$ 时, 由(25)式可得卫星旋转时的 ϕ , 即

$$(29) \quad \phi_s = \sqrt{\frac{M+m}{m}}.$$

设卫星停转所用的时间为 t_s , 由(28), (29)式得

$$(30) \quad t_s = \frac{\omega_0}{\phi_s} = \frac{1}{\omega_0} \sqrt{\frac{M+m}{m}}.$$

四、1. 根据题意, 粒子的初速度只有 y 轴方向和 z 轴方向的分量, 设它们为 v_{0y} 和 v_{0z} . 因

为粒子在 z 轴方向不受电场力和磁场力作用, 故粒子在 z 轴方向以初速度 v_{0z} 作匀速运动.

粒子在 Oxy 面内的运动可以由以下两部分运动合成: 可把粒子在 y 轴方向的初速

度表示为

$$(1) \quad v_{0y} = -v_{0y1} + v_{0y} + v_{0y1} = v_{0z} + v_{0y1},$$

其中

$$(2) \quad v_{0y1} = -\frac{E_0}{B_0},$$

沿 y 轴负方向. 与 v_{0y1} 相关的磁场力

$$(3) \quad f_{Bz} = -qv_{0y1}B_0,$$

沿 x 轴负方向. 粒子受到的电场力

$$(4) \quad f_E = f_{Ex} = qE_0,$$

沿 x 轴正方向. 由(2), (3), (4)式可知, 粒子在 x 轴方向受到的电场力和磁场力正好抵消, 故

粒子以大小为 $\frac{E_0}{B_0}$ 的速度沿 y 轴负方向运动. 除此之外, 由(1)式可知, 粒子还具有初速度

$$(5) \quad v_{0z} = v_{0y} + \frac{E_0}{B_0},$$

沿 y 轴正方向. 与 v_{0z} 相关的磁场力使粒子以速率 v_{0z} 在 Oxy 面内作匀速圆周运动, 以 r 表示

圆周运动的半径, 有

$$(6) \quad qv_{0z}B_0 = m \frac{v_{0z}^2}{r},$$

可得

$$(7) \quad r = \frac{mv_{0z}^2}{qB_0}.$$

由周期的定义和(7)式可得圆周运动的周期

$$(8) \quad T = \frac{2\pi m}{qB_0}.$$

(8)式表明, 粒子运动的周期与粒子在 y 轴方向的初速度无关. 经过时间 T 或 T 的整数倍所考察的粒子就能同时回到 Oyz 平面.

2. 增加的电场 E_z 对粒子在 Oxy 平面内的运动无影响, 但粒子在 z 轴方向要受到此电场力作用. 以 a_z 表示在此电场力作用下的加速度, 有

或

$$(9) \quad ma_z = qE_z,$$

$$(10) \quad a_z = \frac{qE_z}{m}.$$

因未增加电场时,粒子在z轴方向作初速度为 v_{0z} 的匀速运动,增加电场后,粒子在z轴方向的运动是初速度不为0的匀加速直线运动,即有

$$(11) \quad z = v_{0z}t + \frac{1}{2}at^2.$$

由(10),(11)式得

$$(12) \quad z = v_{0z}t + \frac{1}{2} \frac{qE_z}{m} t^2.$$

粒子在Oxy平面内的运动不受电场 E_z 的影响,设 ω_0 为粒子在Oxy平面内作圆周运动的角速度,则有

$$(13) \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB_0}{m}.$$

由图30所示,可得与圆周运动相联系的粒子坐标随时间t的变化关系

$$(14) \quad x' = r(1 - \cos\omega_0 t),$$

$$(15) \quad y' = r \sin\omega_0 t,$$

考虑到粒子在y轴方向还具有速度为 v_{0y} 的匀速运动,并利用(2),

(5),(7),(13)以及已知条件,可得带电粒子的运动规律:

$$(16) \quad x = \frac{m}{qB_0} \left(v_{0y} + \frac{B_0}{m} \right) \left(1 - \cos \frac{qB_0}{m} t \right),$$

$$(17) \quad y = -\frac{E_0}{B_0} t + \frac{qB_0}{m} \left(v_{0y} + \frac{E_0}{B_0} \right) \sin \frac{qB_0}{m} t,$$

$$(18) \quad z = v_{0z}t + \frac{1}{2} \frac{qE_z}{m} t^2.$$

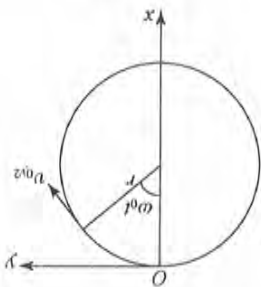


图 30

五、

$$1. I_L - I_0 (e^{\frac{V_L}{V_T}} - 1), I_L, V_T \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_0} \right), V_L - V_T (e^{\frac{V_L}{V_T}} - 1).$$

$$2. 0.62, 0.54, 49, 6.0.$$

六、在电加热器对A室中气体加热的过程中,由于隔板N是导热的,B室中气体的温度要升高,活塞M将向右移动.当加热停止时,活塞M有可能刚移到气缸最右端,亦可能尚未移到气缸最右端.当然亦可能活塞已移到气缸最右端但加热过程尚未停止.

1. 设加热恰好能使活塞M移到气缸的最右端,则B室气体末态的体积

$$(1) \quad V_B = 2V_0.$$

根据题意,活塞M向右移动过程中,B中气体压强不变,用 T_B 表示B室中气体末态的温度,有

$$(2) \quad \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_B}{T_B}.$$

由(1),(2)式得

$$(3) \quad T_B = 2T_0.$$

由于隔板 N 是导热的,故 A 室中气体末态的温度

下面计算此过程中的热量 Q_m .

$$(4) \quad T_A = 2T_0.$$

在加热过程中, A 室中气体经历的是等容过程,根据热力学第一定律,气体吸收的热量等于其内能的增加量,即

$$(5) \quad Q_A = \frac{5}{2}R(T_A - T_0),$$

由(4)、(5)式得

$$(6) \quad Q_A = \frac{5}{2}RT_0.$$

B 室中气体经历的是等压过程,在过程中 B 室气体对外做功为

$$(7) \quad W_B = p_0(V_B - V_0).$$

由(1)、(7)式及理想气体状态方程得

$$(8) \quad W_B = RT_0,$$

内能改变为

$$(9) \quad \Delta U_B = \frac{5}{2}R(T_B - T_0).$$

由(3)、(9)式得

$$(10) \quad \Delta U_B = \frac{5}{2}RT_0$$

根据热力学第一定律和(8)、(10)式, B 室气体吸收的热量为

$$(11) \quad Q_B = \Delta U_B + W_B = \frac{7}{2}RT_0.$$

由(6)、(11)式可知电加热器提供的热量为

$$(12) \quad Q_m = Q_A + Q_B = 6RT_0.$$

2. (i) 若 $Q_0 = Q_m$, B 室中气体末态体积为 $2V_0$, A 室中气体的末态温度 $2T_0$.

(ii) 若 $Q_0 > Q_m$, 则当加热器供应的热量达到 Q_m 时,活塞刚好到达气缸最右端,但这时加

热尚未停止,只是在以后的加热过程中气体的体积保持不变,故热量 $Q_0 - Q_m$ 是 A、B 中气体

在等容升温过程中吸收的热量.由于等容过程中气体不做功,根据热力学第一定律,若 A 室中

气体末态的温度为 T'_A ,有

$$(13) \quad Q_0 - Q_m = \frac{5}{2}R(T'_A - 2T_0) + \frac{5}{2}R(T'_A - 2T_0).$$

由(12)、(13)两式可求得

$$(14) \quad T'_A = \frac{5R}{5R}Q_0 + \frac{4}{5}T_0,$$

B 中气体的末态的体积

$$(15) \quad V'_B = 2V_0.$$

(iii) 若 $Q_0 < Q_m$, 则加热停止时隔板尚未移到气缸最右端,故 B 室中气体末态的体积 V'_B

小于 $2V_0$, 即 $V'_B < 2V_0$. 设 A、B 两室中气体末态的温度为 T'_A ,根据热力学第一定律,注意到 A

室中气体经历的是等容过程,其吸收的热量

(16)

$$Q_A = \frac{5}{2}R(T_A'' - T_0).$$

B室中气体经历的是等压过程, 吸收热量

(17)

$$Q_B = \frac{5}{2}R(T_A'' - T_0) + p_0(V_B'' - V_0).$$

利用理想气体状态方程, 上式变为

(18)

$$Q_B = \frac{7}{2}R(T_A'' - T_0).$$

由上可知

(19)

$$Q_0 = Q_A + Q_B = 6R(T_A'' - T_0),$$

所以A室中气体的末态温度

(20)

$$T_A'' = \frac{Q_0}{6R} + T_0,$$

B室中气体的末态体积

(21)

$$V_B'' = \frac{V_0 T_A''}{T_0} = \left(\frac{Q_0}{6RT_0} + 1\right)V_0.$$

七、

1. 3R

2. 6R

3.

l_2 与 l_1 的距离	l_2 在 l_1 左方还是右方	l_2 的大小	倒立	l_2 是实像还是虚像
6R	右方	$2h$	倒立	虚像

4.

l_1 与 l_1 的距离	l_1 在 l_1 左方还是右方	l_1 的大小	l_1 是正立还是倒立	l_1 是实像还是虚像
18R	左方	$2h$	倒立	实像

八、1. 反应能

(1)

$$Q = [(m_p + m_{3H}) - (m_{3He} + m_n)]c^2,$$

式中 c 为光速, 代入数据得

(2)

$$Q = -0.764\text{MeV},$$

上式表明这是一吸能核反应.

2. 解法一

为了求人射质子动能, 反应前后各粒子都应沿同一直线运动. 设质子的入射速度大小为 v_p , 反应后 ${}^3\text{He}$ 的速度大小为 $v_{3\text{He}}$, 中子的速度大小为 v_n , 根据动量守恒和能量守恒有

(3)

$$m_p v_p = m_{3\text{He}} v_{3\text{He}} + m_n v_n,$$

(4)

$$\frac{1}{2}m_p v_p^2 = \frac{1}{2}m_{3\text{He}} v_{3\text{He}}^2 + \frac{1}{2}m_n v_n^2 + |Q|.$$

由(3), (4)式可得

(5)

$$\left(\frac{m_n^2 + m_n m_{3\text{He}}}{m_p m_n} v_n^2 - 2\right) \left(\frac{m_{3\text{He}}}{m_p m_n} v_p v_n + \left(\frac{m_p^2 - m_p m_{3\text{He}}}{m_{3\text{He}}}\right) v_p^2 + 2|Q|\right) = 0.$$



$$(6) \quad \left\{ \begin{array}{l} a = \frac{m_{3\text{He}}}{m_n^2 + m_{3\text{He}}m_n}, \\ b = -2 \left(\frac{m_{3\text{He}}}{m_p m_n} \right) v_p, \\ c = \left(\frac{m_p^2 - m_p m_{3\text{He}}}{m_p^2 - m_p m_{3\text{He}}} \right) v_p^2 + 2|Q|, \end{array} \right.$$

把(6)式代入(5)式得

$$(7) \quad av_n^2 + bv_n + c = 0,$$

(7)式有解的条件是

$$(8) \quad b^2 - 4ac \geq 0.$$

由(6)式可知, c 可能大于零,亦可能小于零.若 $c < 0$,则(8)式总成立,中子速度一定有解,反应

一定能发生;若 $c > 0$,则由(6)、(8)式得

$$(9) \quad \frac{1}{2} m_p v_p^2 \geq \frac{m_n + m_{3\text{He}}}{m_n + m_{3\text{He}} - m_p} |Q|,$$

即只有当入射质子的动能满足(9)式时,中子速度才有解,反应才能发生,所以入射质子的阈

能为

$$(10) \quad T_{\text{th}} = \left(1 + \frac{m_n}{m_p + m_{3\text{He}} - m_p} \right) |Q|.$$

利用(1)式,在忽略 $|Q|^2$ 项的情况下,(10)式可简化为

$$(11) \quad T_{\text{th}} = \left(1 + \frac{m_p}{m_{3\text{He}}} \right) |Q|,$$

代入有关数据得

$$(12) \quad T_{\text{th}} = 1.02 \text{ MeV}.$$

解法二

为了研究阈能,只考虑碰撞前后各粒子都沿同一直线运动的情况.若碰撞后 ${}^3\text{He}$ 和中子的

速度相同,即粘在一起运动(完全非弹性碰撞),则在碰撞过程中损失的机械能最多,若所损失

的机械能正好等于反应能,则入射质子的动能最小,这最小动能便是阈能.设质子的入射速度

大小为 v_p ,反应后 ${}^3\text{He}$ 和中子的速度大小为 v ,根据动量守恒和能量守恒有

$$(13) \quad m_p v_p = (m_{3\text{He}} + m_n) v,$$

$$(14) \quad \frac{1}{2} m_p v_p^2 = \frac{1}{2} (m_{3\text{He}} + m_n) v^2 + |Q|.$$

由(13)、(14)式可得

$$(15) \quad \frac{1}{2} m_p v_p^2 = \frac{m_n + m_{3\text{He}}}{m_n + m_{3\text{He}} - m_p} |Q|,$$

所以阈能为

$$(16) \quad T_{\text{th}} = \left(1 + \frac{m_n}{m_p + m_{3\text{He}} - m_p} \right) |Q|.$$

$$\frac{m_{3\text{He}}}{|Q|c^2} \gg 1,$$

利用(1)式,并注意到

有

$$\frac{m_n + m_{3He} - m_p}{1} = \frac{m_{3H} \left(1 + \frac{m_p}{m_{3H} c^2} \right)}{1} \approx \frac{1}{1} \left(1 - \frac{m_{3H} c^2}{|Q|} \right).$$

在忽略 $|Q|^2$ 项的情况下, (16) 式可简化为

$$T_{in} = \left(1 + \frac{m_p}{m_{3H}} \right) |Q|, \quad (17)$$

代入有关数据得

$$T_{in} = 1.02 \text{ MeV}. \quad (18)$$

解法三

在牛顿时力学中可以证明, 质点系的总动能可以表示为质点系的总质量以质心速度运动的

动能, 即所谓质心动能与各质点相对质心运动的动能之和. 若质点系不受外力作用, 则质点系

的动量守恒, 质心速度不变, 故质心动能亦恒定不变; 如果质点系内部的相互作用导致质点系

机械能的变化, 则可变化的机械能只能是各质点相对质心运动的动能. 在本题中, 如果质子 p

与氦³H 发生反应后, 生成的中子 n 和氦³He 相对质心都静止, 则质子 p 与氦³H 相对质心运动

的动能之和全部转化成反应能, 反应后系统的动能只有质心的动能, 在这种情况下, 转化成其

他形式能量的机械能最多, 入射质子的动能最小, 这最小动能便是阈能, 所以入射质子的阈能

等于系统质心的动能与反应能之和.

以 v_p 和 v_{3H} 分别表示质子 p 和氦³H 相对质心的速度, 有

$$|Q| = \frac{1}{2} m_p v_p^2 + \frac{1}{2} m_{3H} v_{3H}^2. \quad (19)$$

因系统质心的速度

$$v_c = \frac{m_p v_p}{m_p + m_{3H}}, \quad (20)$$

而

$$v_p' = v_p - v_c = \frac{m_{3H} v_p}{m_{3H} + m_p}, \quad (21)$$

$$v_{3H}' = 0 - v_c = -\frac{m_p v_p}{m_p + m_{3H}}. \quad (22)$$

由 (19), (21), (22) 式得

$$|Q| = \left(\frac{m_{3H}}{m_p + m_{3H}} \right) \left(\frac{1}{2} m_p v_p^2 \right). \quad (23)$$

在牛顿时力学中, 系统的总质量是恒定不变的, 这就导致系统质心的动能在反应前后恒定不

变的结论, 但在本题中, 损失掉的机械能导致系统总质量的变化, 使反应前系统的总质量与反

应后系统的总质量不相等, 即 $m_p + m_{3H} \neq m_n + m_{3He}$. 如果仍沿用牛顿时力学的结论, 对一个孤立

系统, 其质心速度是不会改变的, 故反应后质心的动能应为

$$E_c = \frac{1}{2} (m_n + m_{3He}) v_c^2 = \frac{1}{2} (m_p + m_{3H}) v_c^2 + \frac{1}{2} |Q| v_c^2,$$

而

$$\frac{1}{2} |Q| v_c^2 = \frac{1}{2} |Q| v_c^2 \cdot \frac{m_p + m_{3H}}{m_p + m_{3H}} = \frac{1}{2} |Q| v_c^2 \cdot \frac{m_p}{m_p + m_{3H}}.$$

由此可见,在忽略 $|Q|^2$ 的条件下

$$\frac{1}{2}(m_n + m_{3\text{He}})v_n^2 = \frac{1}{2}(m_p + m_{3\text{H}})v_p^2, \quad (24)$$

而入射质子的动能

$$T_{\text{in}} = \frac{1}{2}(m_p + m_{3\text{H}})v_p^2 + |Q|. \quad (25)$$

由(20),(23),(24)式得

$$T_{\text{in}} = \left(1 + \frac{m_p}{m_{3\text{H}}}\right)|Q|, \quad (26)$$

代入有关数据得

$$T_{\text{in}} = 1.02\text{MeV}.$$

解法四

考虑反应前后各粒子都沿同一直线运动的情况,若入射质子与静止的 ^3H 发生完全非弹性碰撞,即反应后产生的中子和 ^3He 以相同的速度运动,则入射质子的动能就是动能,以 m_{10} 表示质子的静止质量, m_{20} 表示 ^3H 的静止质量, m_{30} 表示中子的静止质量, m_{40} 表示 ^3He 的静止质量,设质子的入射速度大小为 v_1 ,反应后 ^3He 和中子的速度大小都为 v ,根据动量守恒和能量守恒有

$$m_1 v_1 = (m_{30} + m_{40})v, \quad (27)$$

$$m_1 c^2 + m_{20} c^2 = (m_{30} + m_{40})c^2 + \frac{1}{2}(m_{30} + m_{40})v^2, \quad (28)$$

式中 m_1 是质子的动质量,由(27),(28)两式得

$$v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_{20}}, \quad (29)$$

把(29)式代入(27)式,经整理得

$$(m_1 + m_{20})^2 c^2 - m_1^2 v_1^2 = (m_{30} + m_{40})^2 c^2. \quad (30)$$

由

$$m_1 = \frac{m_{10}}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}, \quad (31)$$

可得

$$m_1^2 - m_{10}^2 = \frac{m_{10}^2 v_1^2}{c^2}. \quad (32)$$

若入射质子的动能为 E_{in} ,有

$$m_1 c^2 = m_{10} c^2 + E_{\text{in}}. \quad (33)$$

由(30),(32),(33)式可得

$$E_{\text{in}} = \frac{2m_{20}}{(m_{30} + m_{40})^2 - (m_{10} + m_{20})^2}, \quad (34)$$

利用题给条件并引入反应能,得

或有

$$E_{th} = \frac{m_p + m_{3H} + m_n + m_{3He}}{2m_{3H}} |Q|, \quad (35)$$

$$E_{th} = \frac{|Q|^2 + 2(m_p + m_{3H})}{2m_{3H}} |Q| \approx \frac{m_p + m_{3H}}{m_{3H}} |Q|, \quad (36)$$

代入有关数据得

$$T_{th} = 1.02 \text{ MeV}. \quad (37)$$

3. 由动量守恒和能量守恒有

$$m_p \mathbf{v}_p = m_{3He} \mathbf{v}_{3He} + m_n \mathbf{v}_n; \quad (38)$$

$$\frac{1}{2} m_p v_p^2 = \frac{1}{2} m_{3He} v_{3He}^2 + \frac{1}{2} m_n v_n^2 + |Q|. \quad (39)$$

以 θ 表示反应中产生的中子速度方向与入射质子速度方向的夹角, 如图 31 所示, 根据余弦定律有

$$(m_{3He} v_{3He})^2 = (m_n v_n)^2 + (m_p v_p)^2 - 2m_n m_p v_n v_p \cos\theta. \quad (40)$$

令

$$T_p = \frac{1}{2} m_p v_p^2, \quad (41)$$

$$T_n = \frac{1}{2} m_n v_n^2, \quad (42)$$

$$T_{3He} = \frac{1}{2} m_{3He} v_{3He}^2, \quad (43)$$

将(41), (42), (43)式代入(39), (40)两式得

$$|Q| = T_p - T_{3He} - T_n, \quad (44)$$

$$2m_{3He} T_{3He} = 2m_n T_n + 2m_p T_p - 2\sqrt{2m_n T_n} \cdot \sqrt{2m_p T_p} \cos\theta. \quad (45)$$

由(44), (45)式, 消去 T_{3He} 后, 得

$$T_n - 2\sqrt{\frac{m_n m_p T_p}{m_{3He} + m_n}} \cos\theta \cdot \sqrt{T_n} - \frac{(m_{3He} - m_p) T_p - |Q| m_{3He}}{(m_{3He} + m_n)} = 0. \quad (46)$$

令

$$S = \sqrt{\frac{m_n m_p T_p}{m_{3He} + m_n}} \cos\theta, \quad R = \frac{(m_{3He} - m_p) T_p - |Q| m_{3He}}{(m_{3He} + m_n)}, \quad (47)$$

得

$$T_n - 2S\sqrt{T_n} - R = 0. \quad (48)$$

根据题给的人射质子的动能和第一问求得反应能 $|Q|$ 的值, 由(47)式可知 $R > 0$, 故(48)式

的符合物理意义的解为

$$\sqrt{T_n} = S + \sqrt{S^2 + R}, \quad (49)$$

将具体数据代入(47), (49)式中, 有

$$T_n = 0.132 \text{ MeV}. \quad (50)$$

决赛试题及参考解答

理论部分试题

一、在竖直面内将一个半圆形光滑导轨固定在 A、B 两点，导轨直径 $AB=2R$ ，AB 与竖直

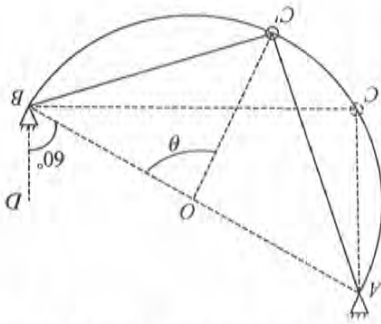


图 32

方向间的夹角为 60° ，在导轨上套一个质量为 m 的光滑小圆环，一个劲度系数为 k 的轻而细的光滑弹性绳穿过圆环，其两端系于 A、B 两点，如图 32 所示。当圆环位于 A 点正下方 C 点时，弹性绳刚好为原长。现将圆环从 C 点无初速度释放，圆环在时刻 t 运动到 C' 点，C' 与半径 OB 的夹角为 θ ，重力加速度为 g 。试分别对下述两种情形，求导轨对圆环的作用力的大小：

1. $\theta=90^\circ$ ，

2. $\theta=30^\circ$ 。

二、如图 33 所示，在水平地面上有一个质量为 M 、长

度为 L 的小车，车内两端靠近底部处分别固定两个轻弹簧，弹簧 1、2 位于同一直线上，其原长分别为 l_1 和 l_2 ，劲度系数分别为 k_1 和 k_2 ；两弹簧的另一端前分别放着一个质量为 m_1 、 m_2 的小球 1、2，弹簧与小球都不相连。

开始时，小球 1 压缩弹簧 1 并保持整个系统处

于静止状态，小球 2 被锁定在车底板上，小球 2 与小车右端的距离等于弹簧 2 的原长。现无初速释放小

球 1，当弹簧 1 的长度等于其原长时，立即解除对小球 2 的锁定；小球 1 与小球 2 碰撞后合为一体，碰撞

时间极短。已知从释放小球 1 至弹簧 2 达到最大压缩量时，小车移动了距离 l_3 ，所有接触均光滑。试求开始时弹簧 1 的长度 l 和后来弹簧 2 所达

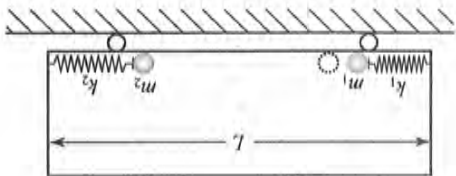


图 33

到的最大压缩量 Δl_2 。

三、某空间站 A 绕地球作圆周运动，轨道半径为 $r_A=6.73 \times 10^6$ m，一个人造地球卫星 B

在同一轨道平面内作圆周运动，轨道半径为 $r_B=\frac{2}{3}r_A$ ，A 和 B

均沿逆时针方向运行。现从空间站上发射一艘飞船（对空间站

无反冲）前去回收该卫星。为了节省燃料，除了节省燃料的加速或

减速变轨过程外，飞船在往返过程中均采用同样形状的逆时针

椭圆转移轨道，作无动力飞行。往返两过程的椭圆轨道均位于空间站和卫星的圆轨道平面内，且其近地点和远地点分别



图 34

位于空间站和卫星的圆轨道上，如图 34 所示。

已知地球半径 $R_E=6.38 \times 10^6$ m，地球表面重力加速度 $g=9.80$ m/s²。试求：

1. 飞船离开空间站 A 进入椭圆转移轨道所必需的速率增量 Δv_A ，若飞船在远地点恰与卫星 B 相遇，为了实现无相对运动的捕获，飞船所需的速率增量 Δv_B 。

2. 按上述方式回收卫星, 飞船从发射到返回空间站至少需要的时间, 空间站 A 至少需绕地球转过的角度. 忽略飞船在变轨过程中所用的短暂时间及在此相应时间内绕地球转过的角度.

四、摩尔质量为 μ 的某种理想气体, 从左向右流过一个内壁光滑的长直水平绝热导管, 导管内横截面的面积为 S , 且 1 mol 绝对温度为 T 的该气体的内能为 $\frac{5}{2}RT$, 式中 R 为普通气体常量.

1. 将一加热装置固定放置在管的中部, 以恒定功率 W 给气体加热, 如图 35 所示. 假设该装置对气流的阻力可忽略. 当气流稳定后, 管中气体虽然在加热装置附近的状态不均匀, 但随着与加热装置距离的增加而逐渐趋于均匀. 在加热装置左边均匀稳流区域中, 气体的压强为 p_0 , 温度为 T_0 , 向右流动的速度为 v_0 . 已知加热装置右边均匀稳流区域中气体的压强为 p_1 , 试求该区域气体的温度 T_1 .

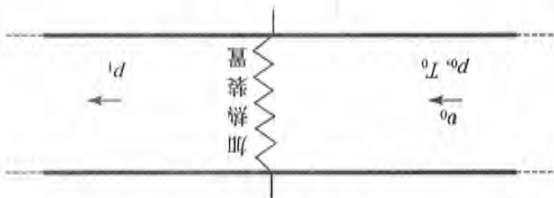


图 35

2. 现将管中的加热装置换成一多孔塞, 如图 36 所示. 在气流稳定后, 多孔塞左边气体的温度和压强分别是 T_0 和 p_0 , 向右流动的速度为 v_0 ; 多孔塞右边气体的压强为 p_2 ($p_2 < p_0$). 假设气体在经过多孔塞的过程中与多孔塞没有任何形式的能量交换, 求多孔塞右边气体的流速 v_2 .



图 36

五、如图 37 所示, 一个三棱镜 ABC 的顶角 α 小于 90° . 假设光线在纸面内以任意入射角入射到 AB 面上的 D 点, 经一次折射后, 又入射到 AC 面上, 且都能在 AC 面上发生全反射. 已知光线在 AC 面上发生全反射的临界角为 Θ ($\Theta < 45^\circ$), AC 边足够长. 试在下列两种情形下分别求三棱镜顶角 α 的取值范围:

1. 如果光线仅从 AB 面上法线的下方入射.
2. 如果光线仅从 AB 面上法线的上方入射.

六、一个电荷量为 q 的点电荷产生的电场在距离它为 r 处的电场强

度的大小为 $E = k_e \frac{q}{r^2}$, 式中 k_e 为常量; 一条长直导线中通有电流 i 时, 它所产生的磁场在与导

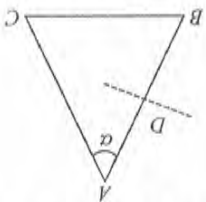


图 37

线相距为 r (远小于长直导线的长度) 处的磁感应强度的大小为 $B = k_m \frac{2I}{r}$, 式中 k_m 也为常量。

上述两常量比值的平方根 $\sqrt{k_e/k_m}$ 可用如图 38 所示的实验装置, 通过低频 (约几百 Hz) 的电场和磁场来测定。图中 A、B 表示水平放置的、电容为 C_1 的平行板电容器的极板, 极板为正方形, 边长为 a_1 (极板间距远小于 a_1)。极板 B 固定, 极板 A 悬挂在天平臂一端的挂钩上。M、N 为两根水平放置的平行长直金属细杆, 长度均为 a_2 , 两杆间的距离为 h ($h \ll a_2$)。杆 N 固定, 杆 M 悬挂于天平臂的另一端挂钩上。 C_2 为一个已知电容的电容器, K 是电键, 交流电源的电压 u 与时间 t 的关系为 $u = U_0 \cos 2\pi f t$, 其中 f 表示交流电的频率, 各部分通过导线如图 38 连接。已知在电键 K 打开时, 天平已调节至平衡, 接通电源后, 天平将失去平衡, 通过调节交流电源的频率, 可使天平重新达到平衡 (注意: 由于天平具有惯性, 实际上是交流电的平均效果使天平平衡)。试求 $\sqrt{k_e/k_m}$ 的表达式。

图中的双线可视为刚性绝缘杆, 单实线为导线, 曲线表示柔软无质量的导线, 不考虑电场、磁场的边缘效应, 不考虑导线磁场对 M 和 N 的影响。

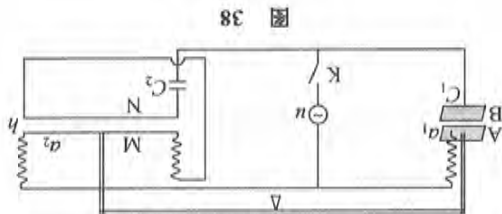


图 38

七、两个劲度系数均为 k 的相同的轻质金属弹簧, 上端固定在水平绝缘横杆上, 竖直下垂, 下端与一个质量为 m 的匀质刚性金属杆连接, 金属杆的长度为 l , 杆长与两弹簧的间距相等, 将金属杆置于磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 磁场方向垂直于纸面向内, 杆、弹簧和交流电源 u 构成一闭合电路, 金属杆和弹簧的电阻可忽略; 且回路电流的磁场远弱于外磁场 B , 如图 39 所示。在图 40 中, 一个自感和一个电容并联后接到同样的交流电源 u 上, 若在图 39 和图 40 所示的两回路中, 在任何时刻, 通过电源的电流都一样, 试将图 40 中电容 C 和自感 L 用图 39 中的装置的已知参量表示。

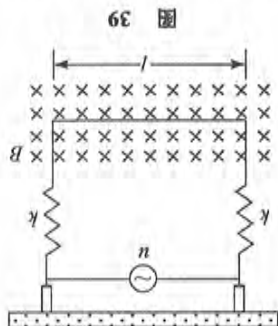


图 39

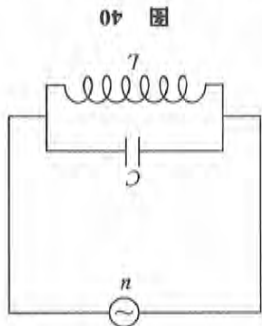


图 40

八、朱棣文等三位科学家因成功实现中性原子的磁光俘获而获得了 1997 年 Nobel 物理学奖, 对以下问题的研究有助于理解磁光俘获的机理 (注意: 本问题所涉及的原子的物理特性参数, 实际上都是在对大量原子或同一原子的多次同类过程进行平均的意义上加以理解的)。

1. 已知处于基态的某静止原子对频率为 ν_0 的光子发生共振吸收, 并跃迁到它的第一激发态(见图 41). 然而, 由于热运动, 原子都处于运动中. 假设某原子以速率 v_0 运动, 现用一束激光迎头射向该原子, 问恰能使该原子发生共振吸收的激光频率 ν 为多少? 经过共振吸收, 该原子的速率改变了多少? ($h\nu_0 \ll mc^2$, m 是原子质量, $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.)

2. 原子的共振吸收是瞬时的, 但跃迁到激发态的原子一般不会立即回到基态, 而会在激发态滞留一段时间, 这段时间被称为该能级的平均寿命. 已知所考察原子的第一激发态的平均寿命为 τ . 若该原子能对迎头射来的激光接连发生共振吸收, 且原子一旦回到基态, 便立即发生共振吸收, 如此不断重复, 试求该原子在接连两次刚要发生共振吸收时刻之间的平均加速度. 注意: 原子从激发态回到基态向各个方向发出光子的机会均等, 由于碰撞频率极高, 因而由此而引起原子动量改变的平均效果为零.

3. 设所考察的原子以初速度 v_0 沿 z 轴正向运动, 一激光束沿 z 轴负向迎头射向该原子, 使它发生共振吸收. 在激光频率保持不变的条件下, 为了使该原子能通过一次接着一次的共振吸收而减速至零, 必须相应地改变原子能级, 为此可让该原子通过一个非均匀磁场 $B(z)$, 实现原子的磁光俘获, 如图 43 所示. 由于处于磁场中的原子与该磁场会发生相互作用, 从而改变原子的激发态能量(见图 42). 当磁感应强度为 B 时, 原来能量为 E 的能级将变为 $E + \Delta E$, 其中 $\Delta E = \mu B$, μ 是已知常量. 试求磁感应强度 B 随 z 变化的关系式.

4. 设质量为 $m = 1.0 \times 10^{-26} \text{ kg}$ 的锂原子初速度 $v_0 = 1.2 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 静止时的共振吸收频率为 $\nu_0 = 4.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$, 第一激发态的平均寿命 $\tau = 5.3 \times 10^{-8} \text{ s}$. 为使所考察的原子按 3 中所描述的过程速度减至零, 原子通过的磁场区域应有多长?

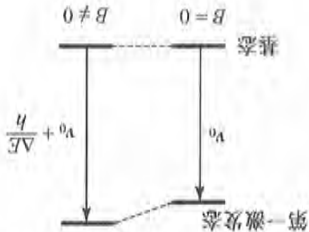


图 41

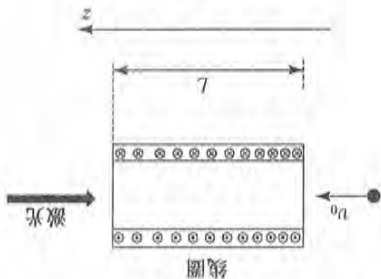


图 43

一、1. 设弹性绳在时刻 t 的伸长量为 ΔL , 弹性绳的

张力为 T , 小圆环下降的高度为 H . 当 $\theta = 90^\circ$ 时, 小圆环受到导轨的正压力 N , 竖直向下重力 mg 和弹性绳的沿 $C'A$ 和 $C'B$ 两个方向的张力, 见图 44. 根据几何关系有

$$\Delta L = 4R \cos 45^\circ - 2R(\cos 30^\circ + \sin 30^\circ)$$

$$= (2\sqrt{2} - \sqrt{3} - 1)R > 0,$$

这说明绳是张紧的.

$$H = \sqrt{2}R \sin(45^\circ - 30^\circ).$$

根据牛顿运动定律, 这时有

理论部分参考解答

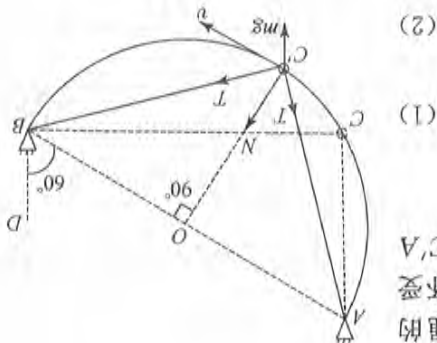


图 44

式中小圆环此刻运动速度的大小,小圆环在下降过程中机械能守恒

$$(3) \quad N + 2T \cos 45^\circ - mg \cos 30^\circ = \frac{mv^2}{R},$$

$$(4) \quad mgH = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k\Delta L^2,$$

根据胡克定律有

$$(5) \quad T = k\Delta L.$$

由以上各式得

$$N = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} - 1 \right) mg - (16 + 2\sqrt{3} - 5\sqrt{2} - 5\sqrt{6}) kR$$

$$(6) \quad = 1.6mg - 0.15kR,$$

2. 当 $\theta = 30^\circ$ 时, 弹性绳的伸长量为

$$\Delta L = 2R(\cos 15^\circ + \sin 15^\circ) - 2R(\cos 30^\circ + \sin 30^\circ)$$

$$(7) \quad = (\sqrt{6} - \sqrt{3} - 1)R = -0.28R < 0,$$

弹性绳处于松弛状态, $T = 0$, 小圆环受力如图 45 所示, 根

据牛顿运动定律有

$$(8) \quad N - mg \cos 30^\circ = \frac{mv^2}{R},$$

整个过程机械能守恒, 有

$$(9) \quad mgH = \frac{1}{2}mv^2,$$

由几何关系得

$$(10) \quad H = 2R \sin 15^\circ \sin 45^\circ,$$

由(8),(9),(10)式得

$$(11) \quad N = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2} - 1 \right) mg = 1.6mg.$$

二、以地面为参考系, 取水平向左为 x 轴正方向, 由题意 $l < l_1$, 在小球 1 从释放至运动到

与小球 2 刚好接触的过程中, 小球 1, 2 与小车的总能量守恒, 故

$$(1) \quad -m_1 v_0 + (M + m_2) V_0 = 0,$$

$$(2) \quad \frac{1}{2} m_1 v_0^2 + \frac{1}{2} (M + m_2) V_0^2 = \frac{1}{2} k_1 (l_1 - l)^2,$$

式中小 v_0 和 V_0 分别表示在小球 1, 2 刚好接触时小球 1 和小车的运动速率.

考虑从小球 1 和 2 相碰至两球合为一体的碰撞过程, 由于碰撞时间极短, 弹簧 2 还没

有来得及及被压缩, 可忽略弹簧 2 的弹力, 此过程中, 小球 1 和 2 作为一个整体动量守恒, 故

$$(3) \quad m_2 V_0 - m_1 v_0 = -(m_1 + m_2) v,$$

式中小 v 表示在碰后的瞬间小球 1 和 2 的共同速率.

当弹簧 2 达到最大压缩时, 小球 1, 2 与小车的三者相对静止, 由动量守恒与系统总动量为零

可知, 这时小车相对于地面的速度为零. 在从小球 1 和 2 刚合为一体时至弹簧 2 达到最大压缩

的过程中, 系统能量守恒, 故

$$(4) \quad \frac{1}{2} M V_0^2 + \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v^2 = \frac{1}{2} k_2 \Delta l_2^2.$$

联立(1)~(4)式得

$$\Delta l_2 = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sqrt{\frac{Mm_1}{(M+m_2)(m_1+m_2)}} (l_1 - l). \quad (5)$$

考虑从小球1释放至弹簧2达到最大压缩的全过程, 小球、弹簧及小车作为一个整体, 所受到的合外力为零, 系统质心的位置在整个过程中应当保持不变, 即

$$(M+m_1+m_2)l_3 - m_1[(l_1 - l) + (L - l_1 - l_2)] - (m_1+m_2)\Delta l_2 = 0. \quad (6)$$

联立(5)和(6)式得

$$l = l_1 - \frac{l_1 + l_2 - L + \frac{M+m_1+m_2}{m_1}l_3}{1 + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sqrt{\frac{M(m_1+m_2)}{m_1}}}, \quad (7)$$

$$\Delta l_2 = \frac{\frac{m_1+m_2}{m_1} + \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \sqrt{\frac{M(m_1+m_2)}{m_1}}}{l_1 + l_2 - L + \frac{M+m_1+m_2}{m_1}l_3} \frac{Mm_1}{(M+m_2)(m_1+m_2)}. \quad (8)$$

三、1. 设空间站A和卫星B的速度大小分别为 v_{A0} 和 v_{B0} , 则由牛顿引力定律得

$$\frac{GmM}{mv_{A0}^2} = \frac{r_A^2}{r_A}, \quad (1)$$

$$\frac{Gm'M}{R_g^2} = m'g, \quad (2)$$

式中 m 和 M 分别是飞船和地球的质量, m' 和 g 分别是地球表面上的某一物体的质量和重力

加速度. 由(1)和(2)式得

$$v_{A0} = R_g \sqrt{\frac{g}{r_A}}, \quad (3)$$

同理有

$$v_{B0} = R_g \sqrt{\frac{g}{r_B}}. \quad (4)$$

飞船进入椭圆转移轨道后, 其机械能为

$$E = -\frac{GmM}{2a}, \quad (5)$$

式中 $2a$ 是椭圆轨道的长轴. 由几何关系有

$$2a = r_A + r_B. \quad (6)$$

设飞船在近地点和远地点处的速度大小分别为 v_A 和 v_B , 则

$$\frac{1}{2}mv_A^2 - \frac{GmM}{r_A} = -\frac{GmM}{2a}. \quad (7)$$

由(1)和(7)式得

$$v_A = \sqrt{2GM \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{2a} \right)} = R_g \sqrt{2g \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{2a} \right)}, \quad (8)$$

同理, 有

$$v_B = R_g \sqrt{2g \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{2a} \right)}. \quad (9)$$

由(3)、(8)式和题给条件得

$$\Delta v_A = v_A - v_{A0} = \left(\sqrt{\frac{6}{5}} - 1 \right) R_e \sqrt{\frac{g}{r_A}} = 735 \text{ m/s}, \quad (10)$$

由(4)、(9)式和题给条件得

$$\Delta v_B = v_{B0} - v_B = \left(\sqrt{\frac{2}{3}} - \sqrt{\frac{15}{8}} \right) R_e \sqrt{\frac{g}{r_A}} = 664 \text{ m/s}. \quad (11)$$

2. 设空间站A、卫星B和飞船的运动周期分别为 T_A, T_B

和 T , 根据开普勒第三定律有

$$\frac{T_A^3}{r_A^3} = \frac{T_B^3}{r_B^3} = \frac{T^3}{a^3},$$

式中

$$T_A = \frac{2\pi r_A}{v_{A0}},$$

飞船从A到B过程所用的时间为

$$\Delta t_1 = \frac{T}{2}.$$

(14)

经 Δt_1 时间和无相对运动的捕获后, 飞船和卫星B同时到达远地点N并开始以相同速率 v_B 和半径 r_B 作圆周运动, 此时空间站A绕地球转过角度 $\Delta\varphi_A$, 位置如图45所示, 且

$$\Delta\varphi_A = 360^\circ \frac{T_A}{\Delta t_1}. \quad (15)$$

可见, 飞船经历了椭圆轨道半个周期 Δt_1 后, 空间站A相对于飞船超前了

$$\Delta\varphi_0 \equiv \Delta\varphi_A - 180^\circ.$$

(16)

如果想选择一个合适的时刻, 开始使捕获了卫星的飞船经

短暂减速后, 沿同样形状的椭圆轨道在近地点M和空间站A相

遇, 如图46所示; 则A与飞船必须处于这样的相对位置, 即空

间站A须超前飞船

$$\Delta\varphi = 360^\circ \times n - \Delta\varphi_0, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (17)$$

设从飞船捕获了卫星时刻算起, 经 Δt 时间后运动到上述相

对位置, 则应满足

$$\left(\frac{T_A}{360^\circ} \Delta t + \Delta\varphi_A \right) - \left(\frac{T_B}{360^\circ} \Delta t + 180^\circ \right) = \Delta\varphi. \quad (18)$$

由(3)、(12)、(13)、(15)、(17)和(18)式得

$$\min \Delta t = \min \left\{ \left(\frac{\Delta\varphi + 180^\circ - \Delta\varphi_A}{360^\circ} \right) \cdot \left(\frac{T_B}{T_A} T_B \right) \right\}. \quad (19)$$

由(3)、(12)、(13)和(19)式得, 飞船从发射到返回空间站至少需要的时间为

$$\Delta t_m = 2\Delta t_1 + \min \Delta t = \left[\left(1 + \frac{r_B}{r_A} \right)^{3/2} + 2 - \left(\frac{1 + r_B/r_A}{2} \right)^{3/2} \right] \frac{R_e \sqrt{g}}{2\pi r_A^{3/2}} = 1.50 \times 10^4 \text{ s}, \quad (20)$$

空间站A绕地球转过的相应的角度为

$$\Delta\varphi_{Am} = \frac{T_A}{360^\circ} \Delta t_m = 981^\circ. \quad (21)$$

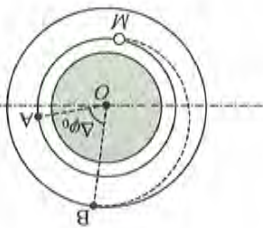


图 46

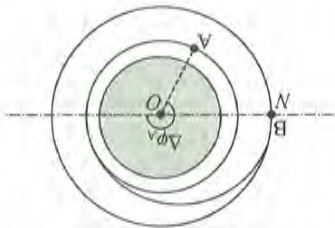


图 45

四、1. 考虑管的横截面AB和CD之间的的气体, 其中横截面AB和CD都位于气体的均匀稳流区域内; 经过 Δt 时间, 该气体的左右边界分别运动到管的横截面A'B'和C'D'处, 如图47所示. 适当选取时间间隔 Δt 的长短, 可得横截面A'B'位于气体的均匀稳流区域内. 因而, ABB'A'和CDD'C'区域内各点均在气体的均匀稳流区域内. 设加热装置右方均匀稳流区域内气体的流速为 v_1 .

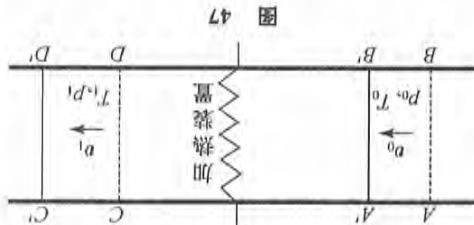


图 47

根据功能原理有

$$W\Delta t + [p_0(Sv_0\Delta t) - p_1(Sv_1\Delta t)] = \Delta E, \quad (1)$$

式中 ΔE 表示气体在A'B'D'C'区域内和在区域ABDC内两种情形下能量之差. 考虑到在稳定状态下, 气体在两区域ABDC和A'B'D'C'的公共区域A'B'DC中的能量相同; ΔE 应当等于处于区域CDD'C'和ABB'A'中的气体的能量之差

$$\Delta E = \left(\frac{1}{2} \Delta m v_0^2 + \frac{5}{2} \Delta m RT_0 \right) - \left(\frac{1}{2} \Delta m v_1^2 + \frac{5}{2} \Delta m RT_1 \right), \quad (2)$$

式中 Δm 为ABB'A'范围内气体的质量. 由于气体在从区域ABDC运动到区域A'B'D'C'的过程中, 质量不变, 在CDD'C'范围内气体的质量也等于 Δm . 由理想气体状态方程有

$$p_1(Sv_1\Delta t) = \frac{\mu}{\Delta m} RT_1, \quad (4)$$

$$p_0(Sv_0\Delta t) = \frac{\mu}{\Delta m} RT_0, \quad (3)$$

联立(1), (2), (3)和(4)式得

$$T_1^2 + \frac{\mu v_0^2}{7RT_0^2} \left(\frac{p_1}{p_0} \right)^2 T_1 - \left(1 + \frac{\mu v_0^2}{7RT_0^2} + \frac{p_0 S v_0^3}{2WRT_0^3} \right) \left(\frac{p_1}{p_0} \right) = 0, \quad (5)$$

其解为

$$T_1 = T_0 \frac{p_0}{p_1} \left\{ -\frac{1}{2} \frac{\mu v_0^2}{7RT_0^2} \frac{p_0}{p_1} + \frac{1}{2} \sqrt{4 + \frac{1}{2} \frac{\mu v_0^2}{7RT_0^2} \frac{p_0}{p_1} + \frac{28 + \frac{p_0 S v_0^3}{8WRT_0^3}}{RT_0^2} \left(\frac{\mu v_0^2}{RT_0^2} \frac{p_0}{p_1} \right)^2} \right\}, \quad (6)$$

负根不合题意, 已舍去.

2. 考虑管的横截面AB和CD之间的的气体, 经过 Δt 时间, 该气体的左右边界分别运动到管的横截面A'B'和C'D'处, 如图48所示.

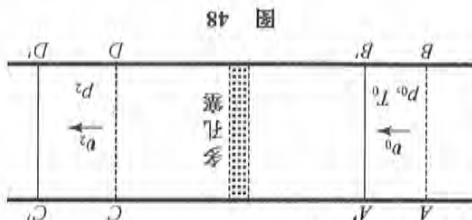


图 48

根据功能原理有

$$p_0(Sv_0\Delta t) - p_2(Sv_2\Delta t) = \left(\frac{1}{2}\Delta m v_2^2 + \frac{5}{2}\Delta m R T_2\right) - \left(\frac{1}{2}\Delta m v_0^2 + \frac{5}{2}\Delta m R T_0\right), \quad (7)$$

式中 Δm 为 $AB'A'$ 范围内气体的质量。由于气体在从区域 $ABDC$ 运动到区域 $A'B'D'C'$ 的过程中, 质量不变, 在 $CDD'C'$ 范围内气体的质量也等于 Δm 。由理想气体状态方程有

$$p_0(Sv_0\Delta t) = \frac{\mu}{\Delta m} RT_0, \quad (8)$$

$$p_2(Sv_2\Delta t) = \frac{\mu}{\Delta m} RT_2, \quad (9)$$

由(7)、(8)和(9)式得

$$v_2^2 + 7\frac{p_2}{RT_0}v_2 - \left(1 + 7\frac{p_0}{RT_0}\right)v_0^2 = 0, \quad (10)$$

其解为

$$v_2 = v_0 \left[-\frac{7}{2}\frac{p_2}{RT_0} + \frac{1}{2}\sqrt{4 + 28\frac{p_0}{RT_0} + \left(\frac{7p_2}{RT_0}\frac{p_0}{RT_0}\right)^2} \right], \quad (11)$$

负根不合题意, 已舍去。

五、参考答案一

1. 考虑光线仅从 AB 面上法线下方入射, 如图 49 所示, 在 AB 面上发生折射, 根据折射定律有

$$\sin i_0 = n \sin r, \quad (1)$$

式中 i_0 和 r 分别是光线在 AB 面上的入射角和折射角, n 是棱镜的

折射率, 在 AC 面上发生全反射应满足

$$n \sin i_1 \geq 1, \quad (2)$$

式中 i_1 是光线在 AC 面上的入射角, 在 $\triangle ADE$ 中有

$$\alpha + (90^\circ - r) + (90^\circ - i_1) = 180^\circ,$$

由此可得

$$i_1 = \alpha - r > 0. \quad (3)$$

将(3)式代入(2)式有

$$n \sin i_1 = n \sin(\alpha - r) \geq 1. \quad (4)$$

因为 i_0, α 都为锐角, 结合(1)式, 利用三角函数关系得

$$\sin \alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 i_0} \geq 1 + \cos \alpha \sin i_0. \quad (5)$$

对(5)式两边平方得

$$\sin^2 i_0 + 2 \cos \alpha \sin i_0 + (1 - n^2 \sin^2 \alpha) \leq 0, \quad (6)$$

上式取等号时的解为

$$\sin i_0 = -\cos \alpha \pm \sqrt{n^2 - 1} \sin \alpha,$$

或

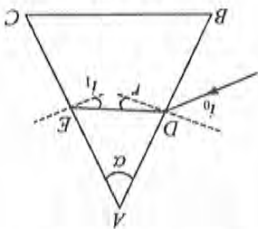
$$\sin i_0 = n \sin(\pm \alpha - \Theta), \quad (7)$$

式中, 已利用了

由于 $0 \leq \sin i_0 \leq 1$, (6)式的解 $\sin i_0$ 应满足

$$n \sin \Theta = 1.$$

图 49



从(8)式可看出,当光线仅从AB面上法线的下方入射,为了使入射角 i_0 取任意值时,光线在AC面上都发生全反射,三棱镜顶角 α 的取值范围为

$$0 \leq \sin i_0 \leq \min\{1, n \sin(\alpha - \theta)\}. \quad (8)$$

$$\alpha \geq 2\theta. \quad (9)$$

2. 考虑光线仅从AB面上法线的上方入射,如图50所示,根据几何关系得

$$i_1 = \alpha + r. \quad (10)$$

在AC面上发生全反射应满足

$$n \sin(\alpha + r) \geq 1. \quad (11)$$

采用1中相同的方法可得

$$\sin^2 i_0 - 2 \cos \alpha \sin i_0 + (1 - n^2 \sin^2 \alpha) \leq 0, \quad (12)$$

上式取等号时的解为

$$\sin i_0 = \cos \alpha \pm \sqrt{n^2 - 1} \sin \alpha,$$

或

$$\sin i_0 = n \sin(\theta \pm \alpha).$$

$$(13)$$

由于 $0 \leq \sin i_0 \leq 1$, (12)式的解 $\sin i_0$ 应满足

$$\max\{0, n \sin(\theta - \alpha)\} \leq \sin i_0 \leq 1, \quad (14)$$

$$(14)$$

从(14)式可看出

$$\alpha \geq \theta. \quad (15)$$

$$(15)$$

当光线仅从AB面上法线的上方入射时,我们还必须保证光线以任意入射角入射到AB面上,经一次折射后,能入射到AC面上的条件,为此,让光线沿AB面掠入射到D点($i_0 = 90^\circ$)

发生折射,如图51所示,容易看出,当且仅当

$$\alpha < 90^\circ - \theta$$

$$(16)$$

时,折射光线才能射到AC面上,联立条件(15)和(16)式得

$$\theta < 45^\circ,$$

这与题设条件一致.

由(15)和(16)式知,当光线仅从AB面上法线的上方入射时,为了使入射角 i_0 取任意值时,光线在AC面上都发生全反射,三棱镜顶角 α

的取值范围为

$$\theta \leq \alpha < 90^\circ - \theta. \quad (17)$$

$$(17)$$

参考解答二

1. 考虑光线仅从AB面上法线的下方入射.先考虑沿AB面掠入射的光线,此时的折射角 r 即为全反射临界角

$$r = \theta, \quad (18)$$

$$(18)$$

如图52所示,如果此光线在AC面上能发生全反射,则此光线在AC面上的入射角 i_1 应当满足

$$i_1 \geq \theta. \quad (19)$$

$$(19)$$

在 $\triangle ADE$ 中有

$$\alpha + (90^\circ - r) + (90^\circ - i_1) = 180^\circ,$$

图 52

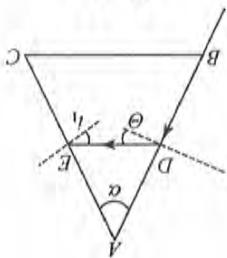
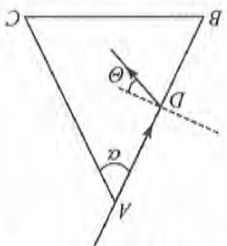


图 51



由此可得

$$\alpha = r + i_1. \quad (20)$$

由(18),(19)和(20)式得

$$\alpha \geq 2\theta. \quad (21)$$

再考虑垂直于AB面入射的光线,如图53所示.如果此光线在

AC面上能发生全反射,则此光线在AC面上的入射角 i_1 应当满足

$$i_1 \geq \theta, \quad (22)$$

在 $\triangle ADE$ 中有

$$\alpha + 90^\circ + (90^\circ - i_1) = 180^\circ,$$

由此可得

$$\alpha = i_1, \quad (23)$$

由(22)和(23)式得

$$\alpha \geq \theta. \quad (24)$$

由(21)和(24)式可看出,当光线仅从AB面上法线的下方入射时,为了使入射角 i_0 取任

意值时,光线在AC面上都发生全反射,三棱镜顶角 α 的取值范围为

$$\alpha \geq 2\theta. \quad (25)$$

2. 考虑光线仅从AB面上法线的上方入射.考虑沿AB面掠入射

的光线,此时的折射角 r 即为全反射临界角

$$r = \theta,$$

如图54所示.如果此光线能与AC面相交,则

$$90^\circ - \theta > \alpha.$$

由图54从几何关系可知

$$i_1 > \alpha \geq \theta,$$

可见此光线能在AC面上发生全反射.

由(24)和(27)式得,当光线仅从AB面上法线的上方入射时,为了使入射角 i_0 取任意值

时,光线在AC面上都发生全反射,三棱镜顶角 α 的取值范围为

$$\theta \leq \alpha < 90^\circ - \theta. \quad (29)$$

六、根据题意可知,通电后天平失去平衡,是由于电容器 C_1 的极板B对极板A的静电力

与长直金属杆N对M的磁力不相等的结果.

先考察极板A受到的静电力.当电源的电压为 u 时, C_1 极板上的电量为

$$q = C_1 u. \quad (1)$$

不考虑边缘效应,平板电容器的电容为

$$C_1 = \frac{a^2}{4\pi k_s k_1}, \quad (2)$$

式中 k_1 是平板电容器的极板间距.

电容器中电场强度的大小为

$$E = \frac{u}{k_1}. \quad (3)$$

由(1),(2)和(3)式得

由对称性和场强叠加原理可知,极板B上的电荷单独产生的电场强度的大小

$$E = 4\pi k_e \frac{q}{a_1^2} \quad (4)$$

$$E_1 = \frac{1}{2}E, \quad (5)$$

极板A受到的静电力的大小为

$$F_e = qE_1, \quad (6)$$

方向向下,由(4),(5)和(6)式得

$$F_e = 2\pi k_e \frac{q^2}{a_1^2} \quad (7)$$

利用(1)式,(7)式可表示为

$$F_e = 2\pi k_e \frac{C_1^2 u^2}{a_1^2},$$

即

$$F_e = 2\pi k_e \frac{C_1^2}{a_1^2} U_0^2 \cos^2(2\pi ft). \quad (8)$$

再考察金属杆M受到的磁力,金属杆M,N与电容C₂串联后接在交流电源两端,通过杆

的电流就是通过C₂的电流,若用U₀表示电容两端电压的峰值,则通过电容的电流的峰值

$$I_0 = \frac{U_0}{1/2\pi f C_2} = 2\pi f C_2 U_0. \quad (9)$$

所谓交流电通过电容,实际上是电容不断充电和放电的过程,当极板上的电量或两极板间

的电压最大时,充电结束,此刻电流为0;接着放电,极板上的电量或电压由大变小,电流反

向,当电量或电压变为0时,电流最大,所以电流和电压的变化不是同步调的,两者相差四分之

一周期.当极板两端电压为

$$u = U_0 \cos 2\pi ft$$

时,通过电容C₂的电流应为

$$i_2 = 2\pi f C_2 U_0 \cos\left(2\pi ft + \frac{\pi}{2}\right). \quad (10)$$

不考虑边缘效应,杆N在杆M处产生的磁感应强度的大小为

$$B = 2k_m \frac{i_2}{h}, \quad (11)$$

杆M受到的磁力为

$$F_m = Bi_2 a_2, \quad (12)$$

方向向下,由(10),(11)和(12)式有

$$F_m = 2k_m \frac{a_2^2}{h} 4\pi^2 f^2 C_2^2 U_0^2 \cos^2\left(2\pi ft + \frac{\pi}{2}\right). \quad (13)$$

调节交流电频率f,使得天平两边电力和磁力对时间的平均值相等,即

$$\overline{F_e(t)} = \overline{F_m(t)}, \quad (14)$$

从而可得

$$\sqrt{\frac{k_m}{k_e}} = 2f C_1 \sqrt{\frac{\pi a_2}{h}}. \quad (15)$$

七、考虑图 39 所示装置,未接电源时,金属杆静止在平衡位置,取此平衡位置为坐标原点,竖直向上为 z 轴正方向。当回路电流为 $i(t)$ (取从右流向左通过电源的电流为正) 时,金属杆受到弹簧的弹性力和重力的合力以及磁场的安培力的作用,而在竖直方向运动。设杆在时刻 t 沿 z 轴方向的位移为 $z(t)$,速度为 $v(t)$,依据牛顿定律,它的动量在经过一个小的时间间隔 Δt 后的变化率为

$$(1) \quad m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -2kz(t) + Bli(t).$$

金属杆因竖直运动而切割磁力线,所产生的感应电动势为

$$(2) \quad e(t) = Blv(t),$$

式中

$$(3) \quad v(t) = \frac{\Delta z}{\Delta t},$$

按照全电路欧姆定律有

$$(4) \quad u(t) = \varepsilon(t),$$

再考虑图 40 所示电路,由题意,回路通过电源的电流仍为 $i(t)$,它等于流过自感和电容的

电流 $i_L(t)$ 和 $i_C(t)$ 之和

$$(5) \quad i(t) = i_L(t) + i_C(t),$$

自感上的电动势 $e_L(t)$ 的大小为

$$(6) \quad e_L(t) = L \frac{\Delta i_L}{\Delta t},$$

而电容 C 满足

$$(7) \quad i_C(t) \Delta t = C \Delta e_C,$$

按照全电路欧姆定律有

$$(8) \quad u(t) = e_L(t).$$

由(2),(3),(4),(6)和(8)式得

$$(9) \quad Bl \Delta z = L \Delta i_L.$$

由于我们选取金属杆在其中电流为零时的平衡位置为 z 坐标原点,故当 $i_L(t) = 0$ 时

$$(10) \quad z(t) = 0,$$

由(9)和(10)式可解得

$$(11) \quad z(t) = \frac{Bl}{L} i_L(t).$$

由(2),(4),(7)和(8)式得

$$(12) \quad \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{BlC}{L} i_C(t).$$

将(5),(11)和(12)式代入(1)式得

$$(13) \quad \left(\frac{C}{m} - B^2 l^2 \right) i_C(t) + (2kL - B^2 l^2) i_L(t) = 0.$$

此式对任意的 $i_C(t)$ 和 $i_L(t)$ 都成立,故

$$(14) \quad \frac{C}{m} - B^2 l^2 = 0, \quad 2kL - B^2 l^2 = 0,$$

由此得

八、1. 设所考察原子的质量为 m , 激光束的频率为 ν , 吸收光子后, 原子的速度由 v_0 变为 v_1 , 从基态激发至第一激发态, 由题意, 该原子第一激发态与基态的能量差为 $h\nu_0$. 由原子和光子组成的系统在吸收光子前后能量和动量均守恒, 故

$$\frac{1}{2}mv_0^2 + h\nu = \frac{1}{2}mv_1^2 + h\nu_0, \quad (1)$$

$$mv_0 - \frac{c}{h\nu} = mv_1. \quad (2)$$

从(1)和(2)式消去 v_1 得

$$2v_0 = \frac{c}{2(\nu_0 - \nu)} + \frac{h\nu}{mc^2}, \quad (3)$$

注意到 $h\nu_0 \ll mc^2$, 因而恰能使该原子发生共振吸收的激光频率为

$$\nu = \frac{v_0}{1 + \frac{v_0}{c}}. \quad (4)$$

由(2)和(4)式可得该原子的速率变化, 即

$$v_1 - v_0 = -\frac{hv_0}{mc^2} \left(1 + \frac{v_0}{c}\right). \quad (5)$$

2. 由于原子吸收光子后在激发态上会滞留一段时间 τ 才回到基态, 当原子回到基态后又立即再次发生共振吸收, 因此, 原子从共振吸收至回到基态这段时间内的平均加速度为

$$a = \frac{v_1' - v_0'}{\tau}, \quad (6)$$

式中原子在共振吸收前、后的速率分别为 v_0', v_1' . 利用(5)式, (6)式成为

$$a = -\frac{hv_0}{m\tau} \left(1 + \frac{v_0}{c}\right) \approx -\frac{m\tau}{m\tau}, \quad (7)$$

加速度是负的, 表示原子在不断发生共振吸收的过程中作减速运动. 由于原子速度是热运动的速度, 它远小于光速, 故可认为原子在不断发生共振吸收的过程中加速度大小恒定, 原子作匀减速运动.

3. 由于原子在共振吸收后减速, 由(4)式可知共振吸收频率要增大, 故必须改变磁感应强度的大小, 否则共振吸收会终止. 若让该原子进入磁感应强度的大小 B 随 z 变化的非均匀磁场, 则应让第一激发态相对于基态的能量差从

$$E = h\nu_0 \quad (8)$$

变为

$$E' = E + \mu_B. \quad (9)$$

于是, 磁场中静止原子的共振吸收频率应增加为

$$\nu' = \frac{E'}{h} = \nu_0 + \frac{\mu_B}{h}. \quad (10)$$

当此原子在磁场中以速度 v 运动时,根据共振吸收条件(4),能使此原子发生共振吸收的激光的频率为

$$\nu_B + \frac{h}{m} B = \nu' = \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}} \nu \quad (11)$$

(11)式说明:能使该原子发生共振吸收的激光的频率不仅与原子的运动速度有关,还与原子所在处的磁场有关,原子因共振吸收而作匀减速运动.当原子以初速 v_0 进入磁场后沿 z 轴运动距离 z 时,其速度为

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2az} \quad (12)$$

若 z 处的磁感应强度的大小 $B(z)$ 能恰好使得

$$\nu_B = \nu \quad (13)$$

则该原子将对于迎面射来的频率为 ν 的激光持续地发生共振吸收,从而不断减速.利用(4)和

(11)式,(13)式成为

$$\nu_0 + \frac{h}{m} B = \frac{1 + \frac{v}{c}}{1 + \frac{v_0}{c}} \nu \quad (14)$$

将(12)式代入上式得

$$B = \frac{h\nu_0 \sqrt{v_0^2 + 2az} - \nu_0}{c + v_0} \quad (15)$$

4. 由(12)式得,当 $v=0$ 时有

$$z = -\frac{v_0^2}{2a} \quad (16)$$

由(7)和(16)式得

$$z = \frac{mv_0^2 ct}{2h\nu_0} \quad (17)$$

代入题给数据得

$$z = 0.38 \text{ m} \quad (18)$$

实验部分试题

实验一 直流电源特性的研究

一、题目

一直流待测电源 E_x , 开路电压小于 2 V.

1. 利用所给仪器, 自组电压表, 并测量待测电源 E_x 的开路电压;

2. 利用所给仪器, 测量待测电源 E_x 的短路电流.

二、仪器

1. 直流待测电源 E_x .

2. 六位电阻箱 R_1, R_2 2 台.

3. 标称值 $350\ \Omega$ 的滑线变阻器 W 1台.

4. 标称值 3 V 直流电压源 E 1台.

5. 准确度等级 0.5 级指针式 $100\ \mu\text{A}$ 直流电流表 A₁ 1台.

6. 准确度等级 0.5 级指针式多量程直流电流表 A₂ 1台.

7. 准确度等级 1.5 级指针式检流计 G 1台.

8. 开关、导线若干.

三、说明

1. 待测电源 E_x 具有非线性内阻, 不适合用 U-I 曲线外推法测量;

2. 测量中需要的电压表用 $100\ \mu\text{A}$ 指针式直流电流表 A₁ 和电阻箱自组;

3. 标称值 3 V 直流电压源 E 由 2 节 1 号干电池、 $15\ \Omega$ 保护电阻串联构成;

4. 所画测量电路中的待测电源 E_x、3 V 直流电压源 E、电流表 A₁、电流表 A₂ 需用“+”和

“-”标明其正、负极性;

5. 检流计 G 两接线端子上并联 2 个保护二极管, 作为平衡指示器使用时, 可以不使用串联保护电阻. 如果测试中需要用检流计 G 判断电流是否为 0 时, 应说明检流计 G 指示为 0 的

判断方法或者判断过程.

四、要求

1. 利用所给器材, 测量 $100\ \mu\text{A}$ 电流表内阻, 并将 $100\ \mu\text{A}$ 电流表改装成 2.00 V 量程的电

压表. 要求画出测量内阻的电路图, 简述测量原理, 给出测量结果; 画出自组电压表的示意图,

并标明元件的数值.

2. 测量待测电源 E_x 的开路电压.

(1) 画出测量待测电源 E_x 的开路电压的电路图, 简述测量待测电源 E_x 开路电压的原理

和步骤.

(2) 连接电路、测量并记录必要的数值, 标明待测电源 E_x 开路电压的测量值.

3. 测量待测电源 E_x 的短路电流.

(1) 画出测量待测电源 E_x 短路电流的电路图, 并简述测量待测电源 E_x 短路电流的原理

和步骤.

(2) 连接电路、测量并记录必要的数值, 写出待测电源 E_x 短路电流的测量值.

实验二 光电效应的实验研究

一、概述

金属及其化合物在光照射下发射电子的现象称为光电效应. 爱因斯坦指出, 一束光就是一

束以光速运动的粒子流, 这些粒子称为光子, 频率为 ν 的光的每一个光子所具有的能量为 $h\nu$,

它不能再分割, 而只能整个地被吸收或产生出来. 根据能量守恒定律, 当金属中的电子从入射

光中吸收光子的能量后, 就获得能量 $h\nu$, 如果 $h\nu$ 大于该金属的电子逸出功 A, 这个电子就可以

从金属中逸出, 叫做光电子, 且有:


$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2.$$

该式称为爱因斯坦光电效应方程. 逸出功 A 是指一个电子脱离金属表面时所需做的最小功,

$\frac{1}{2}mv_m^2$ 是光电子从金属表面逸出时所具有的最大初动能. h 是普朗克常数, 由方程可知, 能够

使某种金属产生光电子的入射光,其最低频率 ν_0 应由该金属的逸出功决定, ν_0 称为截止频率。而照射光的光强是由单位时间到达单位垂直面积的光子数决定的,光强越大,逸出的光电子数越多。

利用光电效应原理制成的光电管能将光信号转化为电信号,光电管的示意图为:



其中K为阴极,光照后可发射光电子;A为阳极,加正电压时收集光电子,负电压时阻止光电流,光电管的主要特性有:

1. 伏安特性:当照射光的频率和光强一定时,光电流随两极间电压变化的特性称为伏安特性。用不同强度的光照射光电管时,可得到不同的伏安特性曲线,极间电压为零时,光电流并不为零,当光电管加反向电压至一定值 U_c 时,光电流才为零, $|U_c|$ 称为截止电压。
2. 光电特性:当照射光的频率和两极间电压一定时,饱和光电流 I_H 随照射光强度变化的特性称为光电特性。

3. 光电管的截止电压 U_c 与光照频率 ν 有关,测出不同频率光照射下光电管的截止电压 U_c ,画出 $|U_c| \sim \nu$ 的关系图,从而根据光电效应方程,可由图线求出普朗克常数 h 、阴极材料的截止频率 ν_0 和逸出功 A 。

二、仪器用具

1. 装在暗盒中的光电管 K^{\ominus} — A^{\oplus} (附有挡光盖)1只。

2. 高压汞灯 H^{\oplus} 及其电源1套(附有挡光盖)。

3. 滤光片1组(其透射光的中心波长 λ 分别为365 nm,405 nm,436 nm,466 nm,577 nm)。

4. 光阑1组(直径 $\phi=2$ mm,4 mm,8 mm)。

5. 直流稳压电源 E_1 1个(30 V 稳压恒流电源,已调至稳压状态,显示“CV”)。

6. 电位器R1个(3.3 k Ω ,3 W)。

7. 专用微电流计 G^{\oplus} 1个及专用电缆线(它是实验仪中的微电流测量部分,用于测量光电管所产生的光电流,电缆线实际是两条线,当用电缆线将实验仪背面的“微电流输入”与光电管

暗盒背面的“K”接通时, G^{\oplus} 就串联在电路中,电流量程为 10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} , 10^{-11} , 10^{-12} , 10^{-13} A,实验仪还有1个测量普朗克常数 h 时要用到的 $-2\sim 0$ V电源 E_2 及电压调节旋钮,仪器面板见使用说明。)

8. 直流电压表 V^{\oplus} 1个(0.5级,0~15~30 V)。

9. 光具座1个(附有标尺)。

10. 单刀开关 K_1 1个。

11. 双刀双掷换向开关 K_2 1个。

12. 导线若干。

三、实验题目及要求

1. 测定光电管的伏安特性。

(1) 画出实验电路图,注明所用仪器符号。

(2) 简述实验方案(或主要步骤)。

(3) 连接电路,选择436 nm的滤光片使照射光的波长为436 nm的单色光,用 $\phi=8$ mm的光阑,光源与光电管间的距离 s 调为40.0 cm,改变光电管极间的电压 U_{AK} ($-3\sim 30$ V),合理选择电压表和电流计量程(在 $10^{-11}\sim 10^{-9}$ A范围内选),测量若干组电压 U_{AK} 与电流 I 的值,固定照射光的波长仍为436 nm,改变光强(用4 mm和2 mm光阑),再测两次 U_{AK} , I 值;

作数据记录如下:
 $\lambda =$, $s =$

$I/$	$\phi/8$ mm	-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0
	$\phi/4$ mm										
	$\phi/2$ mm										

$I/$	$\phi/8$ mm	6.0	8.0	11.0	14.0	17.0	20.0	23.0	26.0	30.0
	$\phi/4$ mm									
	$\phi/2$ mm									

(4) 在直角坐标纸上同一坐标系中作出 $U_{AK}\sim I$ 图.

注:测量时不准用实验仪内的 $-2\sim +30$ V电源,必须用所给的直流稳压电源等自组测量电路;实验仪中的电流测量部分作微电流计使用.

2. 用“零电流”法测定普朗克常数 h ,及从图线上求出截止频率 ν_0 ,并计算阴极材料的逸出功 A .

“零电流”法是直接将各谱线光照射下测得的电流为零时对应的电压 U_{AK} 的绝对值作为截止电压 U_s .

(1) 推导测量普朗克常数的实验公式,简述实验原理.

(2) 光电管用实验仪的 $-2\sim 0$ V电压输出端供电,用专用线连接电路,简述实验步骤.

(3) 固定 $s=30.0$ cm, $\phi=4$ mm,电流计量程用 10^{-13} A挡,用不同的滤光片以改变照射光的频率,在电流 $I=0$ 及其两边各测两组共五组数据,以确定各自对应的截止电压 U_s 值.

作数据记录如下:

$s =$, $\phi =$

$I/10^{-13}$ A					
U_{AK}/V					

$\lambda=365$ nm

$I/10^{-13}$ A					
U_{AK}/V					

$\lambda=405$ nm

$\lambda = 436 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$				
U_{AK}/V				

$\lambda = 546 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$				
U_{AK}/V				

$\lambda = 577 \text{ nm}$

$I/10^{-13} \text{ A}$				
U_{AK}/V				

λ/nm	365	405	436	546	577
$\nu = c/\lambda$ $/10^{14} \text{ Hz}$					
$ U_n /\text{V}$					

(4) 在直角坐标纸上作出 $|U_n| \sim \nu$ 图;

(5) 根据 $|U_n| \sim \nu$ 图求出普朗克常数 h 的值(要有计算过程);

(6) 根据 $|U_n| \sim \nu$ 图得出截止频率 ν_0 , 并计算光电管阴极材料的逸出功 A .

注: 这部分测量时要求用实验仪内的 $-2 \sim 0 \text{ V}$ 电源、电压表和电流计.

四、注意事项

(1) 使用光电管和汞灯光源的挡光盖, 不要使光电管暴露在强光下; 不要用眼睛直视汞灯发出的光! 换光阑和遮光片时, 先将汞灯的遮光盖盖上!

(2) 防止遮光片及光阑污染或打碎!

(3) 指针式电压表如接错位置或正负极, 指针反转会损坏仪表!

(4) 调节到位后, 读取数据宜迅速!

实验部分参考解答

实验一 直流电源特性的研究

1. 内阻测量采用电流半偏转法, 电路如图 55 所示, R_1 和 R_2 为电阻箱, 先把 R_1 调 $30 \text{ k}\Omega$,

闭合 S_1 , 断开 S_2 , 调节电阻箱 R_1 , 使得 $100 \mu\text{A}$ 电流表满偏, 然后闭合 S_2 , 调节 R_2 使得 $100 \mu\text{A}$ 电流表半偏转, 此时 R_2 的阻值为电流表的内阻值 R_G .

实测值电流表半偏时, $R_2 = 2500 \Omega$.

严格地说, 当 S_2 闭合后, 回路总电阻会降低, 当 $R_2 = R_G$ 时, 回路总电阻减小了 $0.5 R_G$, 应

该回路总电阻加上补偿, 即在 R_1 上增加 $0.5 R_G$, 所以在闭合 S_2 调节 R_2 使得电流表半偏的过

程中, 在电阻箱 R_1 上增加 $0.5 R_2$, 此方法称为: 回路总电阻补偿的电流半偏法.

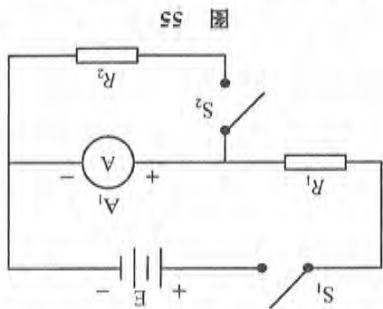


图 55

回路总电阻补偿的电流半偏法实测值： $R_2 = 2700 \Omega$ 。
 改装后的电压表电路图如图 56 所示(电流表内阻以实际为准)：

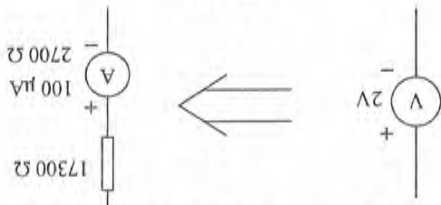


图 56

2. (1) 测量待测电源 E_x 开路电压的电路图如图 57 所示。

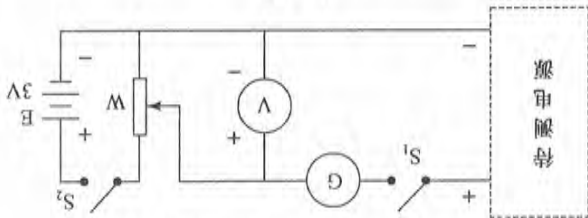


图 57

调节滑线变阻器 W , 当开关 S_1 闭合、断开, 检流计 G 指针不动时(检流计指示为 0), 电压表的示值即为测电源 E_x 的开路电压值。

(2) 开路电压测量结果： $1.62 \pm 0.04 \text{ V}$ 。

3. (1) 测量电源 E_x 短路电流的电路图如图 58 所示。

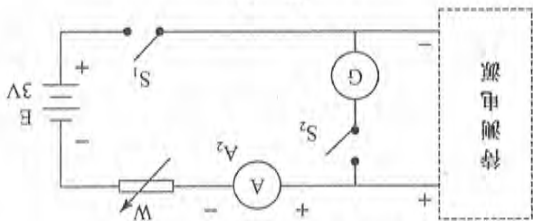


图 58

(2) 短路电流测量结果： $14.5 \pm 0.5 \text{ mA}$ 。

注：电源结构

① 待测电源 E_x 为非线性内阻电源, 结构如图 59 所示：

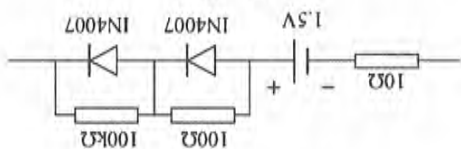


图 59

② 标称值 3 V 直流电压源 E 结构如图 60 所示:

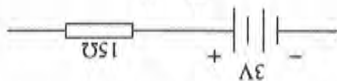


图 60

实验二 光电效应的实验研究

1. (1) 实验电路图,如图 61 所示.

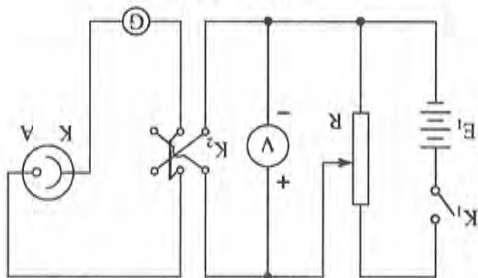


图 61 电路图

(2) 实验步骤

- ① 将加挡光盖的汞灯及光电管安装在光具座上,使二者的输出、输入口正对,调 $s = 40.0\text{ cm}$,用专用电缆线将光电管与实验仪的“微电流输入”连接,接通汞灯及实验仪预热.
- ② 按电路图接线,电压表选 30 V 档,在光电管入光孔上加 $\phi = 8\text{ mm}$ 光阑及 436 nm 滤光片,选量程最大挡,微电流计调零后开始试测,确定用 10^{-10} A (或 10^{-11} A) 挡测量.
- ③ 用 K_2 使光电管加反向电压,改变电位器 R,测量 U_{Ak} 为 $-3\sim 0\text{ V}$ 对应的光电流 I ,然后用 K_2 加正向电压,测 $0\sim 30\text{ V}$ 对应的光电流.

④ 将光阑换为 $\phi = 4\text{ mm}$, 2 mm, 重复③,测量 U_{Ak} , I 值.

(3) 数据记录,如下表所示.

$$\lambda = 436\text{ nm}, s = 40.0\text{ cm}$$

U_{Ak}/V	-3.0	-2.0	-1.0	-0.6	0.0	0.6	1.0	1.4	2.2	2.9	3.1
$I/10^{-10}\text{ A}$	0.0	0.0	0.0	0.8	1.7	3.1	4.3	7.0	8.5	9.3	
$\phi/2\text{ mm}$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
$\phi/4\text{ mm}$	0.0	0.0	0.0	0.6	3.8	7.4	13.1	18.0	27.5	33.0	36.6
$\phi/8\text{ mm}$	-0.1	-0.1	0.6	3.8	7.4	13.1	18.0	27.5	33.0	36.6	

U_{AK}/V	$I/10^{-10} A$		
	$\phi/8 mm$	$\phi/4 mm$	$\phi/2 mm$
6.0	43.0	10.7	3.6
8.0	51.3	12.7	4.3
11.0	63.0	15.8	5.4
14.0	73.9	18.9	6.3
17.0	83.5	21.8	7.5
20.0	93.3	24.5	8.4
23.0	101.8	26.9	9.3
26.0	109.8	29.0	10.0
30.0	118.4	31.4	10.5

续表

(4) $U_{AK} \sim I$ 图如图 62 所示.

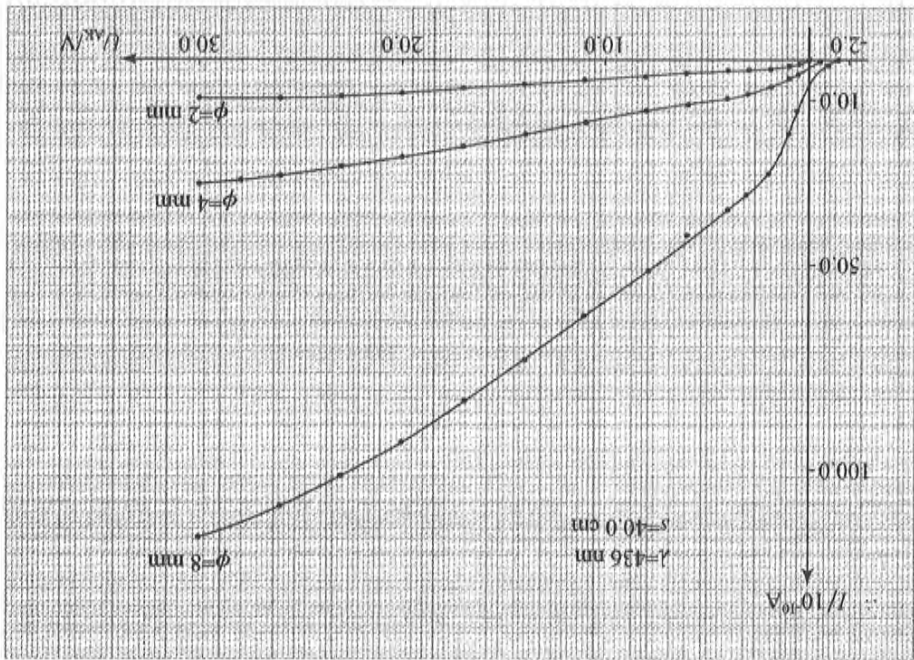


图 62 $U_{AK} \sim I$ 图

2. (1) 实验公式推导及原理简述.
光电效应方程为

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + A. \quad (1)$$

当光电管两极电压达到截止电压时,有

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = eU_a. \quad (2)$$

截止频率的定义为

$$A = h\nu_0. \quad (3)$$

将(2),(3)式代入(1)式,则

$$U_a = \frac{e}{h}(\nu - \nu_0), \quad (4)$$

即 U_a 与频率 ν 成线性关系.

实验原理: 由(4)式可知, 测出不同频率光照射光电管的截止电压 U_a 与照射光频率 ν 的关系直线, 则由直线的斜率 k 可以求出普朗克常数 $h = eK$, 直线与横轴的截距为截止频率 ν_0 .

由(3)式可以求出逸出功 A .

(2) 实验步骤

① 用专用连接线将光电管电压输入端与实验仪电源输出端连接,使用 $-2\sim+2\text{V}$ (或 $-2\sim 0\text{V}$)挡;

② 选定光阑 $\phi=4\text{mm}$, $s=30.0\text{cm}$,将光电管与实验仪内的微电流计⑤用专用电缆线连接,然后断开连接 A 的导线,旋转“电流调零”钮,使电流指示为零.(或将调零/测量开关切换为“调零”,旋转“电流调零”钮,使电流指示为零.)

③ 分别将 $\lambda=365\text{nm}$, 405nm , 436nm , 546nm , 577nm 的滤光片装在光电管进光口上,从低到高调节电压,测量并记录光电流为零及两边的 5 组数据,确定使光电流为零的截止电压 U_a .

④ 电流计用 10^{-12}A (或 10^{-13}A)挡.
 (3) 数据记录,如下表所示.

$s=30.0\text{cm}$, $\phi=4\text{mm}$

$\lambda=365\text{nm}$

$I/10^{-13}\text{A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{Ak}/V	-1.995	-1.978	-1.905	-1.760	-1.705

$\lambda=405\text{nm}$

$I/10^{-13}\text{A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{Ak}/V	-1.682	-1.643	-1.548	-1.354	-1.288

$\lambda=436\text{nm}$

$I/10^{-13}\text{A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{Ak}/V	-1.366	-1.335	-1.299	-1.213	-1.168

$\lambda=546\text{nm}$

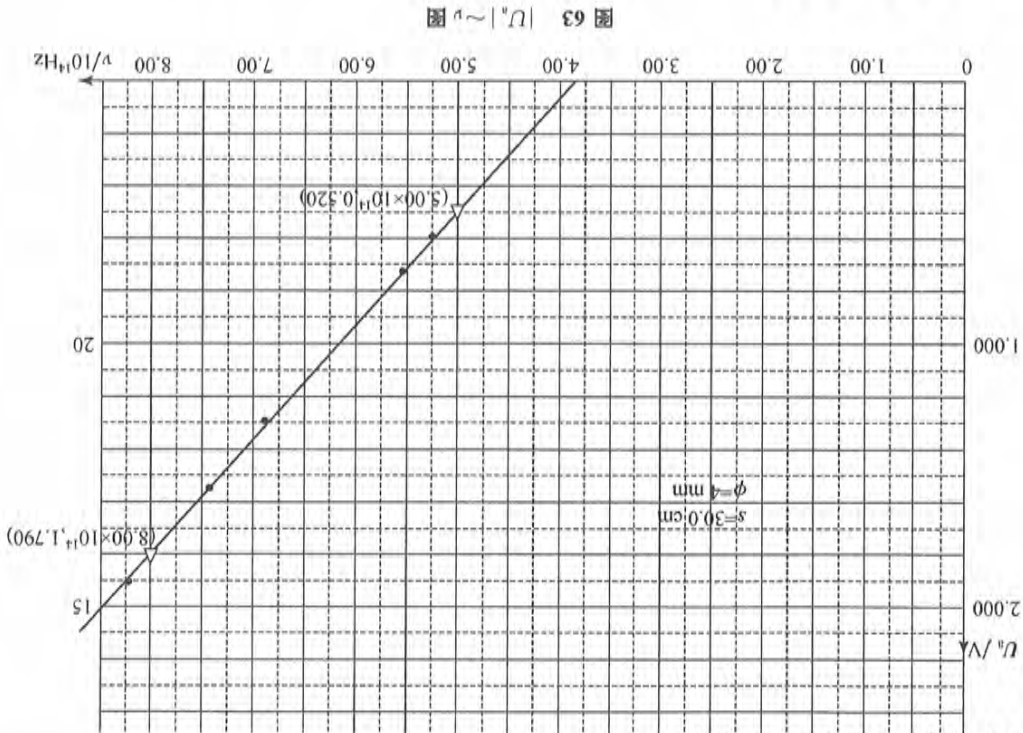
$I/10^{-13}\text{A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{Ak}/V	-0.754	-0.750	-0.730	0.684	-0.639

$\lambda=577\text{nm}$

$I/10^{-13}\text{A}$	-1.2	-1.0	0.0	5.0	10.0
U_{Ak}/V	-0.661	-0.651	-0.590	0.478	-0.421

根据以上数据,得:

λ/nm	365	405	436	546	577
$\nu=c/\lambda$ $/10^{14}\text{Hz}$	8.22	7.41	6.88	5.49	5.20
$ U_a /\text{V}$	1.905	1.548	1.299	0.730	0.590

(4) $|U_a| \sim \nu$ 图如图 63 所示.图 63 $|U_a| \sim \nu$ 图(5) 计算普朗克常数 h

斜率:

$$K = \frac{1.790 - 0.520}{(8.00 - 3.00) \times 10^{14}} \text{ V/Hz} = \frac{1.270}{3.00 \times 10^{14}} \text{ V/Hz} = 4.23 \times 10^{-15} \text{ V/Hz},$$

$$h = eK = 1.60 \times 10^{-19} \times 4.23 \times 10^{-15} \text{ J} \cdot \text{s} = 6.77 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

(6) 读取光电管阴极材料的 ν_0 及计算逸出功 A 从 $|U_a| \sim \nu$ 图线的横轴截距得:

$$\nu_0 = 3.76 \times 10^{14} \text{ Hz}, \quad A = h\nu_0 = 2.55 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.59 \text{ eV}.$$

附录一 历届全国中学生物理竞赛及我国参加的国际物理奥林匹克竞赛基本情况

第1~28届全国中学生物理竞赛的基本情况见表A-1。

表A-1 第1~28届全国中学生物理竞赛的基本情况

届次	预赛		决赛	
	时间	参赛人数	时间	地点 参赛人数
1	1984年11月18日	43 079	1985年2月26日至3月2日	北京 76
2	1985年1月26日	52 925	1986年4月1日至5日	上海 104
3	1986年11月16日	58 766	1987年2月22日至25日	天津 105
4	1987年10月25日	57 523	1988年1月6日至10日	兰州 101
5	1988年10月23日	55 855	1989年1月6日至10日	广州 106
6	1989年10月8日	53 096	1989年12月10日至14日	长春 127
7	1990年10月21日	54 393	1990年12月23日至27日	福州 105
8	1991年6月30日	73 806	1991年9月8日至13日	桂林、南宁 104
9	1992年9月6日	60 617	1992年10月12日至15日	合肥 101
10	1993年9月5日	46 843	1993年10月8日至11日	长沙 105
11	1994年9月4日	65 146	1994年10月9日至12日	西安 109
12	1995年9月3日	55 867	1995年10月8日至11日	太原 112
13	1996年9月8日	86 173	1996年10月19日至22日	杭州 114
14	1997年9月8日	90 067	1997年10月18日至22日	南昌 118
15	1998年9月6日	134 599	1998年10月21日至25日	大庆 121
16	1999年9月5日	169 282	1999年10月16日至21日	南京 126
17	2000年9月3日	225 683	2000年10月21日至25日	武汉 143
18	2001年9月9日	267 363	2001年10月20日至24日	海口 145
19	2002年9月8日	322 043	2002年10月19日至23日	郑州 146
20	2003年9月7日	359 835	2003年10月18日至22日	济南 170
21	2004年9月5日	328 134	2004年10月16日至20日	重庆 173
22	2005年9月4日	363 139	2005年10月15日至19日	沈阳 167
23	2006年9月2日	426 673	2006年11月4日至9日	深圳 173
24	2007年9月2日	411 350	2007年11月3日至8日	宁波 177
25	2008年9月7日	452 967	2008年10月18日至23日	北京 210
26	2009年9月6日	437 840	2009年10月31日至11月5日	上海 280
27	2010年9月5日	443 327	2010年10月30日至11月4日	厦门 280
28	2011年9月4日	484 301	2011年10月29日至11月3日	西安 280
总计		5 680 692		4 078

1986年7月,我国首次参加了在英国伦敦举行的第17届国际物理奥林匹克竞赛(International Physics Olympiad, IPhO)。在以后的历届国际物理奥林匹克竞赛中,我国每年选派5名学生参赛,至今共派出123人。历届参赛的基本情况见表A-2。

表A-2 我国参加第17~42届国际物理奥林匹克竞赛的基本情况

届次	时间	地点	参赛选手姓名	获奖数据				
				金牌	银牌	铜牌	表扬奖	合计
17	1986年	英国伦敦	林晨、卫星、张明		1	1	1	3
18	1987年	德国耶拿	陈恂、黎锦晖、唐鹏飞、吴爱华、张燕平		2	3		5
19	1988年	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年	波兰华沙	燕京、毛甬、邱东星、葛宁、林晓帆		4	1		5
21	1990年	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年	古巴哈瓦那	王泰然、任宇翔、宣佩琦、夏磊、吕强	5				5
23	1992年	芬兰赫尔辛基	陈涵、李翌、石长春、张霖涛、罗卫东	5				5
24	1993年	美国威廉斯堡	张俊安、李林波、贾占峰、韦韬、黄雅宁	2	2	1		5
25	1994年	中国北京	杨亮、韩岩、田涛、饶京翔、黄英	4	1			5
26	1995年	澳大利亚堪培拉	游海涛、毛蔚(女)、谢小林、倪彬、蒋志	5				5
27	1996年	挪威奥斯陆	刘雨润、张蕊(女)、徐开闻、陈汇钢、倪征	5				5
28	1997年	加拿大萨德伯里	赖柯青、王晨扬、连乔、王新元、倪成来	3	2			5
29	1998年	冰岛雷克雅未克	邓志峰、陈宇翔、刘媛(女)、吴欣安、李啸峰	5				5
30	1999年	意大利帕多瓦	蒋良、季燕、段雪峰、贾 equal、张志鹏	2	3			5
31	2000年	英国莱斯特	吕莹、陈晓升、宋均亮、张弛、肖晶	5				5
32	2001年	土耳其安塔利亚	施陈博、戚扬、刘彦、魏筑曼、吴彬	4	1			5
33	2002年	印度尼西亚巴厘	樊向军、杨恒、顾春辉、陈阳、高俊	4	1			5
34	2003年	中国台湾	—					
35	2004年	韩国浦项	李真、缪亚立、施烨明、郎瑞田、高亢	5				5
36	2005年	西班牙萨拉曼卡	戴明劬、余江雷、李晗晗、李安、黄武杰	5				5
37	2006年	新加坡	杨硕龙、王星泽、朱力、张鸿凯、裴东斐	5				5
38	2007年	伊朗伊сфа罕	彭星月、胡嘉仲、钱秉玺、简超明、李懿西	4	1			5
39	2008年	越南河内	谭隆志、康磊、周权、贺卓然、毕震	5				5
40	2009年	墨西哥梅里达	史寒朵、林倩、雷进、熊照熙、管紫轩	5				5
41	2010年	克罗地亚萨格勒布	俞颢超、吴俊杰、于乾、靖礼、张浦良	5				5
42	2011年	泰国曼谷	李蓝青、向重远、易可欣、王逸飞、杨帆	5				5
总计				91	21	9	2	123

附录二 第42届国际奥林匹克

物理竞赛试题

理论题^①

1. 一个三体问题与探空激光干涉仪(LISA)

1.1 两个有引力相互作用、质量分别为 M 和 m 的物体绕它们共同的质心分别在半径为 R 和 r 的圆形轨道上运动. 求 M 和 m 间连线的角速度 ω , 并用 R, r, M, m 和万有引力常数 G 表示.

1.2 如图 1 所示, 现在将第三个质量无限小的物体 μ 放在一个与 M, m 轨道共面且绕上述质心作圆周运动的轨道上, 以便使 μ 相对于 M 和 m 保持静止. 假定此质量无限小的物体不与 M 和 m 共线, 试将下列参数的值用 R 和 r 表示出来:

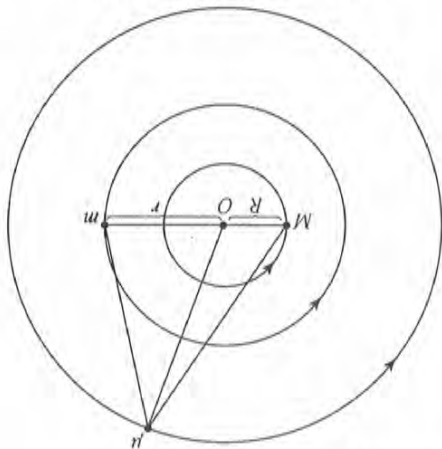


图 1 三个物体的共面轨道

1.2.1 μ 和 M 之间的距离.

1.2.2 μ 和 m 之间的距离.

1.2.3 μ 和质心之间的距离.

1.3 考虑 $M = m$ 的情况. 如果 μ 在 $O\mu$ 方向受到一个很小的径向微扰, 求 μ 相对于未被微扰位置振动的角频率, 并用 ω_0 表示. 假定 μ 的角动量守恒.

^① 北京大学物理学院刘树新、陈晓林、荀坤、张朝晖译.

探测激光干涉仪(LISA)由三个相同的航天器组成,其目的是为了探测低频引力波。如图2和图3所示,三个航天器分别位于一个等边三角形的顶点上,等边三角形的每边长(或者说“臂长”)为5.0百万千米。LISA处在一个类似地球的轨道上并跟踪地球绕太阳公转,LISA质心的角位置比地球落后 20° 。LISA中的每一个航天器各自绕太阳运行的轨道相对于地球轨道略有倾斜,实际上,这三个航天器绕它们共同的中心每年旋转一圈。

三个航天器不间断地相互发射并接收激光信号,并通过激光的干涉效应来探测由于引力波而导致LISA等边三角形边长的微小改变。质量巨大的天体的碰撞,比如说银河的近邻星系中黑洞的碰撞,就是引力波的波源的一个例子。

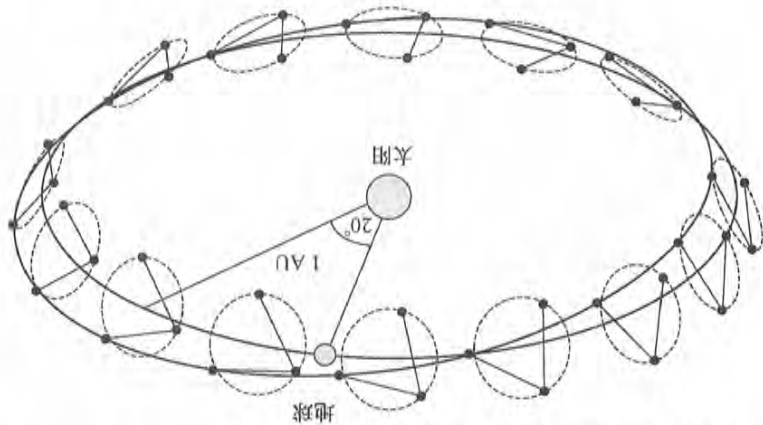


图2 LISA轨道示意图

三个航天器绕它们的质心以1年为周期旋转,它们跟踪地球,开始时与地球的角度为 20° 。(图取自D. A. Shaddock, "An Overview of the Laser Interferometer Space Antenna", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 2009, 26, pp.128—132.)

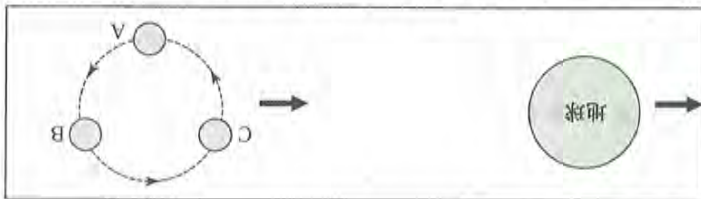


图3 三个航天器跟踪地球的放大示意图

A、B和C代表位于等边三角形顶点的三个航天器。

1.4 在包含三个航天器的平面内,一个航天器相对于另一个航天器的速度是多少?

2. 带电肥皂泡

一个球形的肥皂泡,其内部空气密度为 ρ_1 ,温度为 T_1 ,半径为 R_0 ,其周围大气的密度为 ρ_0 ,大气压强为 P_0 ,温度为 T_0 ,肥皂泡的表面张力为 γ ,密度为 ρ_s ,厚度为 l ,假定肥皂泡的质量和表面张力不随温度变化,且 $R_0 \gg l$ 。

当肥皂泡-空气的交界面增加的面积为 dA 时,肥皂泡增加的能量为 dE , $dE = \gamma dA$,这里 γ

是薄膜的表面张力。

2.1 用 γ , P_a 和 R_0 来表示比率 $\frac{\rho_l T_l}{\rho_a T_a}$.

2.2 由 $\gamma = 0.0250 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, $R_0 = 1.00 \text{ cm}$, 和 $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 算出 $\frac{\rho_l T_l}{\rho_a T_a} - 1$ 的数值。

2.3 肥皂泡形成时内部气温较高。请计算能使肥皂泡漂浮在空气中的内部空气温度 T_l 的最低数值。计算时取 $T_a = 300 \text{ K}$, $\rho_a = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $\rho_l = 1.30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, $t = 100 \text{ nm}$ 和 $g = 9.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

肥皂泡在形成一段时间后, 将与其周围环境达到热平衡。这样, 该肥皂泡就会在静止的空气中下沉。

2.4 上升气流可以使该肥皂泡继续漂浮在空中, 找出该上升气流的最小速度 u 。请把答案用 ρ_a , R_0 , g , t 以及空气的黏滞系数 η 来表示。你可以假设气流的速度很小, 故斯托克斯(Stokes)定律成立, 并可忽略肥皂泡内气温降低而导致半径的变化。斯托克斯定律给出的黏滞力为: $F = 6\pi\eta R_0 u$ 。

2.5 取 $\eta = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 算出上升气流的最小速度 u 的数值。

上面的计算表明: 涉及表面张力 γ 的项对结果的精确度影响很小。在以下的所有问题中, 你都可以忽略表面张力。

2.6 如果这个球形肥皂泡均匀带上总电量为 q 的电荷, 用 R_0 , P_a , q 和真空介电常数 ϵ_0 表示出肥皂泡新的半径 R_1 。

2.7 假设总电荷不是太大, 即 $\frac{q^2}{\epsilon_0 R_0^4} \ll P_a$, 以及肥皂泡的半径只有少量的增加, 求 ΔR , 其中 $R_1 = R_0 + \Delta R$ 。已知, 当 $x \ll 1$ 时, $(1+x)^n \approx 1+nx$ 。

2.8 如要使肥皂泡不动地浮在静止的空气中, 总电荷 q 的值是多少? 用 t , ρ_a , ρ_l , ϵ_0 , R_0 , P_a 表示, 并计算出 q 的数值。真空介电常数 $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ (farad/m)。

3. 卢瑟福的原子核模型百周年纪念: 中性原子对离子的散射

一个质量为 m , 带电荷为 Q 的离子以非相对论的初始速率 v_0 , 从极远处射向一中性原子附近。该中性原子的质量 $M \gg m$, α 为电极化率, 如图 1 所示, b 为碰撞参量(即瞄准距离)。中性原子被正靠近的离子的电场(E)极化, 从而具有电偶极矩 $p = \alpha E$ 。在此题中忽略辐射损失。

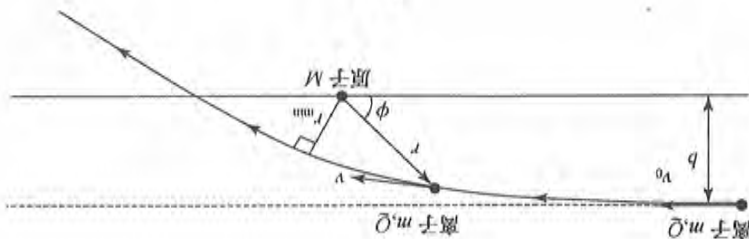


图 1

3.1 几何位置关系如图2所示,计算一个位于原点O的理想电偶极子p在与距离为r处所产生的电场强度在p方向的分量(E_p).

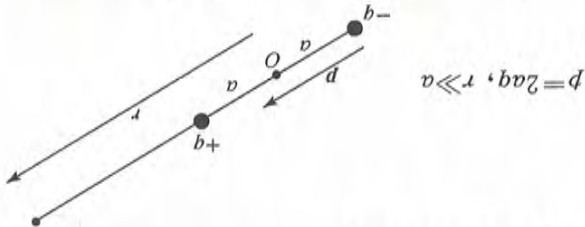


图2

3.2 求被极化的原子作用在离子上的力f的表达式,证明不论离子所带电荷为何种符号,该力都是吸引力.

3.3 求离子和原子间相互作用的电势能,并以 α, Q 和r表示.

3.4 给出图1中最接近距离 r_{min} 的表达式.

3.5 当瞄准距离b小于某个临界值 b_0 时,离子将会沿一螺旋线碰到原子.在此情况下,离子将被中和而原子则会带电,此过程被称为“电荷交换”相互作用.在离子看来,原子的“电荷交换”碰撞截面的面积 $A = \pi b_0^2$ 是多少?

实验题^①

1. 电学黑盒子: 电容式位移传感器

振荡频率为f的弛张振荡器含有一个电容为C的电容器,f与C的关系如下:

$$f = \frac{C + C_s}{\alpha}$$

其中 α 是常量, C_s 是电路的杂散电容,频率f可用数字频率计观测.

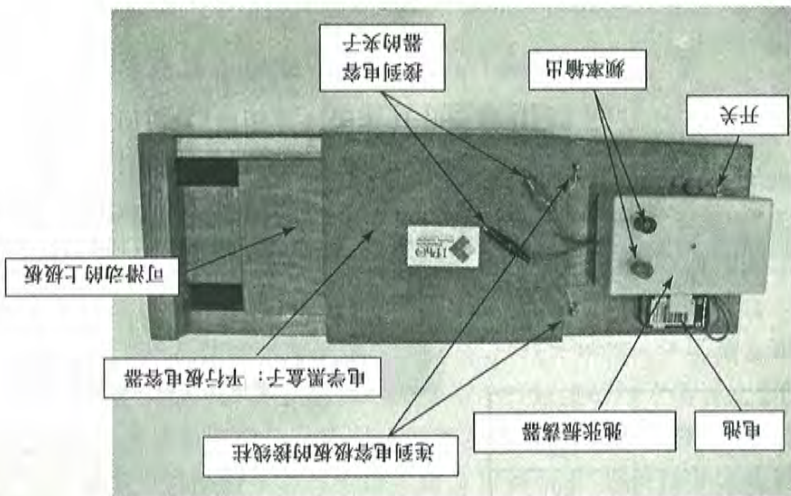


图1

① 北京大学物理学院荀坤、张朝晖、刘树新、陈晓林译.

本题中的电学黑盒子是一平行板电容器,它由上、下两个极板构成,其中下面的一个极板固定不动,上面的一个极板可以沿着一个方向滑动,两个极板之间有介电材料隔开,每个极板都是梳状结构,每个梳齿的形状都相同,滑动上极板就可以改变黑盒子的电容值。

设备

一个弛张振荡器,一个用于测量弛张振荡器频率的数字万用表,一套已知电容值的电容,一个电学黑盒子和一个电池。

注意:检查电池的电压,若其低于 9 V,请要求更换新电池,别忘了打开开关。

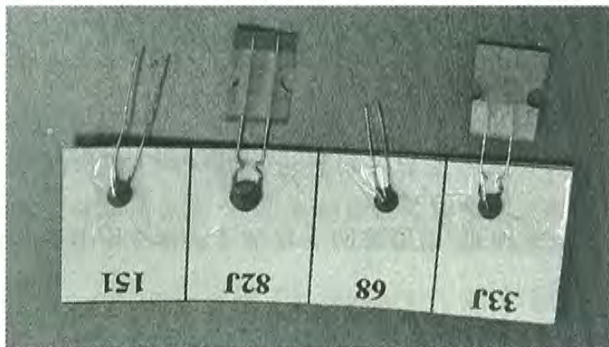


图 2 给定的电容元件

编号	电容值/pF
33J	34 ± 1
68	68 ± 1
82J	84 ± 1
151	150 ± 1

表 1 给定电容器的标称电容值

图 3 测量频率用的数字万用表

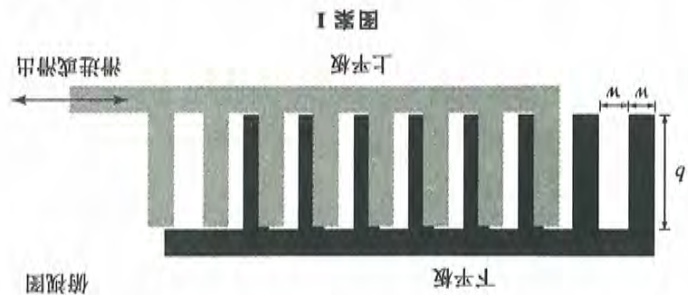


第 1 部分 标定

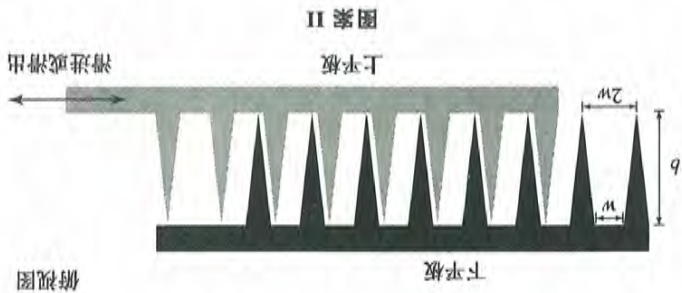
利用本题所提供的已知电容值的电容元件,标定振荡电路的振荡频率 f . 通过恰当作图,求出 α 和 C_s 的数值,不要求做误差分析。

第 2 部分 确定平行板电容器的几何形状

给了三种可能的几何形状,即图案 I、图案 II 和图案 III 如下:



图案 I



图案 II



图案 III

针对每种可能的几何形状,定性绘出 C 随上极板位置变化的预期曲线,然后,测量 f 与上极板位置的关系,绘出相应的曲线,并由此推出平行板电容器的平板形状和尺寸(即求出 b 和 w 的值).已知上、下极板之间的距离 (d) 是 0.20 mm . 两极板之间的介质的介电常数为 $K=1.5$. 真空的介电常数为 $\epsilon_0=8.85\times 10^{-12}\text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$. 不要你做误差分析.

第3部分 数字卡尺的分辨率

两个极板之间的相对位置变化时,电容器的电容数值随之变化.这个装置可以作为数字卡尺来测量长度.如果本实验中的平行板电容器被用作数字卡尺,由第2部分的实验数据估计该卡尺的分辨率:即对 $f\approx 5\text{ kHz}$,求出可以分辨的最小距离.对最终的结果不需要做误差估计.

2. 力学黑盒子: 一个内含小球的中空圆柱

一个中空圆柱,质量为 M ,内含一质量为 m 的小球,固定在距离圆柱顶端为 z 的位置,沿垂直于圆柱中轴线的方向钻有一系列小孔,这些孔用来使圆柱在竖直平面内绕其摆动.要求学生进行必要的无损测量,以确定下列各量的数值,并估计它们的误差:

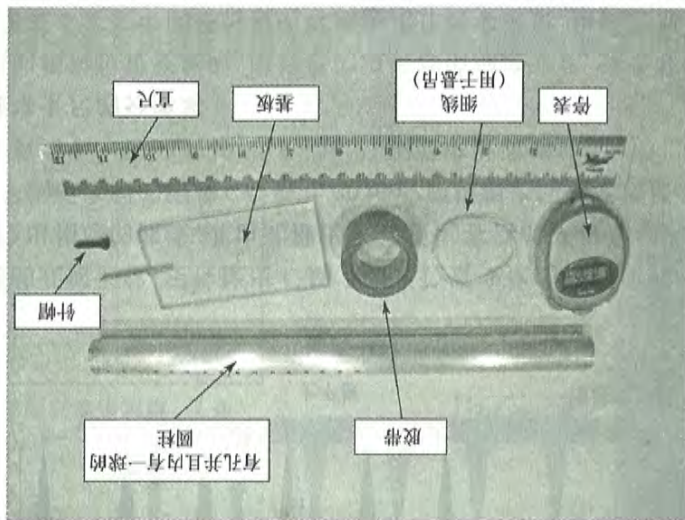
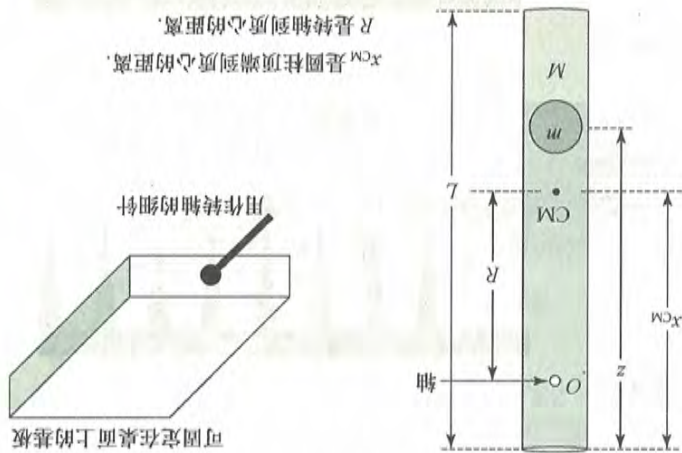
i. 上述含球中空圆柱的质心位置, 并给出用于测量质心的实验方法示意图.

ii. 距离 z .

iii. 比值 $\frac{M}{m}$.

iv. 重力加速度 g .

装置: 一个上述含小球的中空圆柱, 一个带有细针的基板, 一个针帽, 一把直尺, 一个停表, 细线, 一支铅笔和胶带.



注意: 细针是尖锐的, 不用它时, 须用针帽保护, 以便安全.

有用的信息:

1. 对于这样的物理摆(即复摆), $\{(M+m)R^2 + I_{CM}\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -g(M+m)R\theta$, 这里 I_{CM} 是上

述带球中空圆柱相对质心的转动惯量, θ 是角位移.

2. 长为 L 、质量为 M 的中空圆柱, 绕经过质心且垂直于圆柱中轴线的转轴旋转, 其转动

质量可近似表为 $\frac{1}{3}M\left(\frac{L}{2}\right)^2$.

3. 平行轴定理: $I = I_{\text{centre of mass}} + 2Mx^2$, 这里 x 是转轴到质心的距离, $2M$ 是物体的总质量.

4. 球可当作质点处理, 位于圆柱中轴线上.

5. 中空圆柱的圆筒部分质量分布均匀, 端帽的质量忽略不计.

附 英文试题^①

THEORETICAL COMPETITION

1. A Three-body Problem and LISA

- 1.1 Two gravitating masses M and m are moving in circular orbits of radii R and r , respectively, about their common centre of mass. Find the angular velocity ω_0 of the line joining M and m in terms of R, r, M, m and the universal gravitational constant G .
- 1.2 A third body of infinitesimal mass μ is placed in a coplanar circular orbit about the same centre of mass so that μ remains stationary relative to both M and m as shown in Figure 1. Assume that the infinitesimal mass is not collinear with M and m . Find the values of the following parameters in terms of R and r :

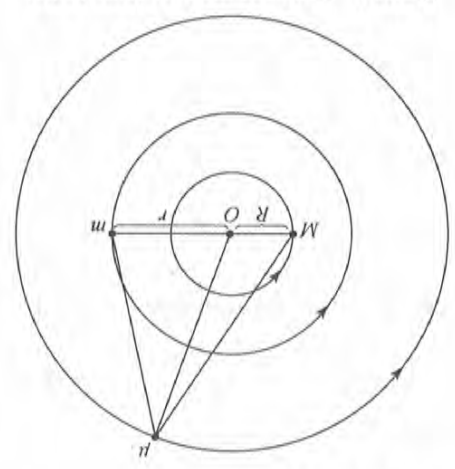


Figure 1 Coplanar orbits of three bodies

- 1.2.1 distance from μ to M .
- 1.2.2 distance from μ to m .
- 1.2.3 distance from μ to the centre of mass.
- 1.3 Consider the case $M=m$. If μ is now given a small radial perturbation (along $O\mu$), what is the angular frequency of oscillation of μ about the unperturbed position in terms of ω_0 ? Assume that the angular momentum of μ is conserved.

① 英文试题及解答可从官方网站 <http://www.ipho2011.org/> 下载.

The Laser Interferometry Space Antenna (LISA) is a group of three identical

spacecrafts for detecting low frequency gravitational waves. Each of the spacecrafts is placed at the corners of an equilateral triangle as shown in Figure 2 and Figure 3. The sides (or "arms") are about 5.0 million kilometres long. The LISA constellation is in an earth-like orbit around the Sun trailing the Earth by 20° . Each of them moves on a slightly inclined individual orbit around the Sun. Effectively, the three spacecrafts appear to roll about their common centre one revolution per year.

They are continuously transmitting and receiving laser signals between each other. Overall, they detect the gravitational waves by measuring tiny changes in the arm lengths using interferometric means. A collision of massive objects, such as blackholes, in nearby galaxies is an example of the sources of gravitational waves.

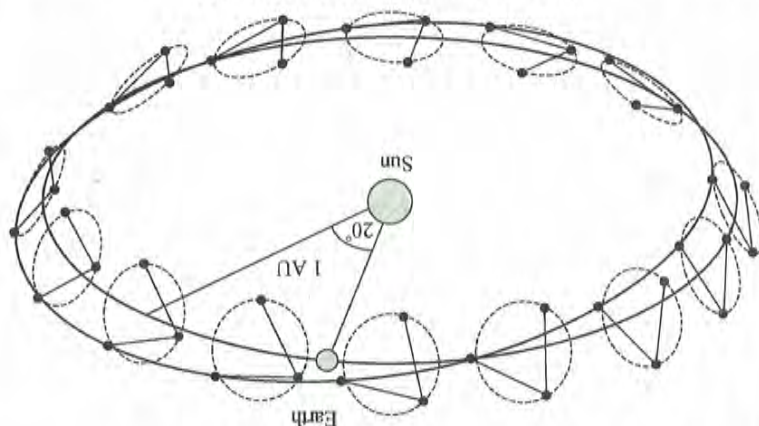


Figure 2 Illustration of the LISA orbit

The three spacecraft roll about their centre of mass with a period of 1 year. Initially, they trail the Earth by 20° . (Picture from D. A. Shaddock, "An Overview of the Laser Interferometer Space Antenna", *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 2009, 26, pp.128–132.)

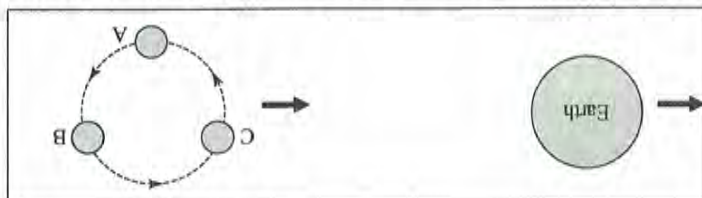


Figure 3 Enlarged view of the three spacecrafts trailing the Earth
A, B and C are the three spacecrafts at the corners of the equilateral triangle.

1.4 In the plane containing the three spacecrafts, what is the relative speed of one spacecraft with respect to another?

2. An Electrified Soap Bubble

A spherical soap bubble with internal air density ρ_0 , temperature T_0 and radius R_0 is

An ion of mass m , charge Q , is moving with an initial non-relativistic speed v_0 from a great distance towards the vicinity of a neutral atom of mass $M \gg m$ and of electrical

3. To Commemorate the Centenary of Rutherford's Atomic Nucleus: the Scattering of an Ion by a Neutral Atom

The permittivity of free space $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ farad/m.
that the bubble will float motionlessly in still air? Calculate also the numerical value of q .

2.8 What must be the magnitude of this charge q in terms of $t, \rho_a, \rho_s, \epsilon_0, R_0, P_a$ in order
Given that $(1+x)^n \approx 1+nx$ where $x \ll 1$.

experiences a small increase in its radius, find ΔR where $R_1 = R_0 + \Delta R$.
2.7 Assume that the total charge is not too large (i. e. $\frac{q^2}{\epsilon_0 R_0^2} \ll P_a$) and the bubble only

equation describing the new radius R_1 in terms of R_0, P_a, q and the permittivity of free space ϵ_0 .
2.6 If this spherical bubble is now electrified uniformly with a total charge q , find an
tension terms.

little to the accuracy of the result. In all of the questions below, you can neglect the surface
The above calculations suggest that the terms involving the surface tension γ add very

2.5 Calculate the numerical value for u using $\eta = 1.8 \times 10^{-5}$ kg \cdot m $^{-1}$ \cdot s $^{-1}$.
equilibrium. The drag force from Stokes' Law is $F = 6\pi\eta R_0 u$.

Stokes' law applies, and ignore the change in the radius when the temperature lowers to the
the air's coefficient of viscosity η . You may assume that the velocity is small such that

the bubble from falling at thermal equilibrium. Give your answer in terms of ρ_s, R_0, g, t and
2.4 Find the minimum velocity u of an updraught (air flowing upwards) that will keep
surrounding. This bubble in still air will naturally fall towards the ground.

After the bubble is formed for a while, it will be in thermal equilibrium with the
 $t = 100$ nm and $g = 9.80$ m \cdot s $^{-2}$.

of T_1 such that the bubble can float in still air. Use $T_a = 300$ K, $\rho_a = 1000$ kg \cdot m $^{-3}$, $\rho_s = 1.30$ kg \cdot m $^{-3}$,
2.3 The bubble is initially formed with warmer air inside. Find the minimum numerical value
 $P_a = 1.013 \times 10^5$ N \cdot m $^{-2}$.

2.2 Find the numerical value of $\frac{\rho_a T_a}{\rho_s T_s} - 1$ using $\gamma = 0.0250$ N \cdot m $^{-1}$, $R_0 = 1.00$ cm, and

2.1 Find the ratio $\frac{\rho_a T_a}{\rho_s T_s}$ in terms of γ, P_a and R_0 .

interface by dA , is given by $dE = \gamma dA$ where γ is the surface tension of the film.
The increase in energy, dE , that is needed to increase the surface area of a soap-air
the soap do not change with the temperature. Assume that $R_0 \gg t$.

film has surface tension γ , density ρ_a and thickness t . The mass and the surface tension of
surrounded by air with density ρ_a , atmospheric pressure P_a and temperature T_a . The soap

polarisability α . The impact parameter is b as shown in Figure 1.

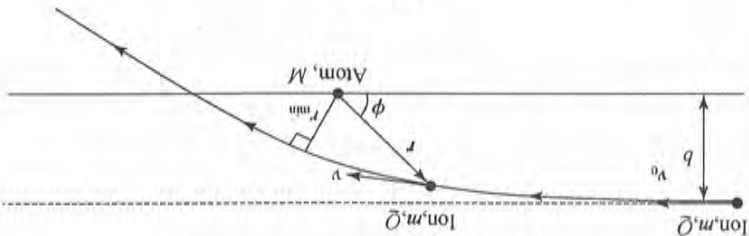


Figure 1

The atom is instantaneously polarised by the electric field (E) of the incoming (approaching) ion. The resulting electric dipole moment of the atom is $p = \alpha E$. Ignore any radiative losses in this problem.

3.1 Calculate the electric field intensity (E_p) at a distance r from an ideal electric dipole p at the origin O along the direction of p in Figure 2.

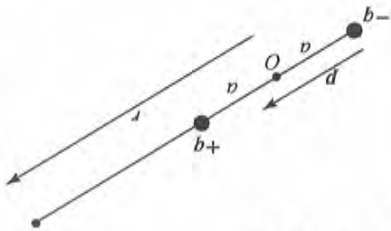


Figure 2

$$p = 2aq, r \gg a$$

3.2 Find the expression for the force f acting on the ion due to the polarised atom. Show that this force is attractive regardless of the sign of the charge of the ion.

3.3 What is the electric potential energy of the ion-atom interaction in terms of α , Q and r ?
3.4 Find the expression for r_{\min} the distance of the closest approach in Figure 1.
3.5 If the impact parameter b is less than a critical value b_0 , the ion will descend along a spiral to the atom. In such a case, the ion will be neutralized, and the atom is, in turn, charged. This process is known as the "charge exchange" interaction. What is the cross sectional area $A = \pi b_0^2$ of this "charge exchange" collision of the atom as seen by the ion?

1. Electrical Blackbox: Capacitive Displacement Sensor

EXPERIMENTAL COMPETITION

For a capacitor of capacitance C which is a component of a relaxation oscillator whose frequency of oscillation is f , the relationship between f and C is as follows:

$$f = \frac{C + C_0}{a}$$

where α is a constant and C_s is the stray capacitance of our circuits. The frequency f can be monitored using a digital frequency meter.

The electrical blackbox given in this experiment is a parallel plate capacitor. Each plate consists of a number of small teeth of the same geometrical shape. The value of C can be varied by displacing the upper plate relative to the lower plate, horizontally. Between the two plates there is a sheet of dielectric material.

Equipment: a relaxation oscillator, a digital multimeter for measuring frequency of the relaxation oscillator, a set of capacitors of known capacitances, an electrical blackbox and a battery.

Caution: Check the voltage of the battery and ask for a new one if the voltage is less than 9 V. Do not forget to switch on.

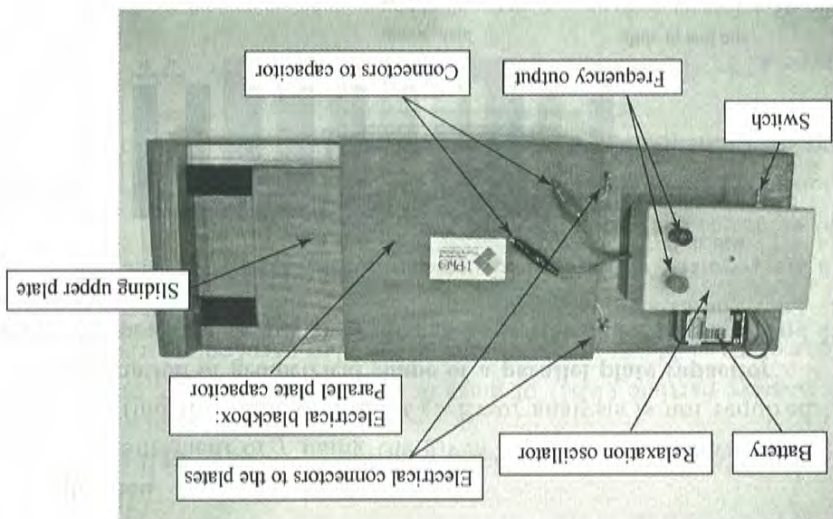


Figure 1

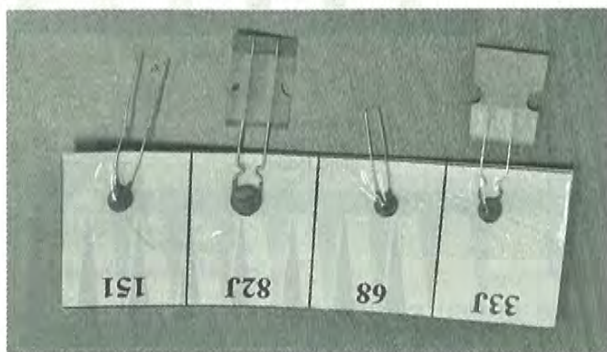


Figure 2 Capacitors



Figure 3 Digital multimeter for measuring frequency

Code	Capacity value/pF
33J	34 ± 1
68	68 ± 1
82J	84 ± 1
151	150 ± 1

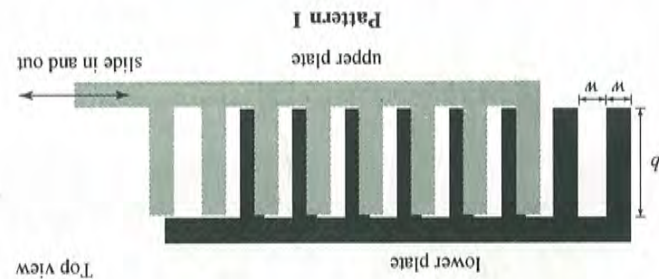
TABLE 1 Nominal Capacitance values

Part I Calibration

Perform the measurement of f using the given capacitors of known capacitances. Draw appropriate graph to find the value of a and C_s . Error analysis is not required.

Part 2 Determination of geometrical shape of a parallel plate capacitor

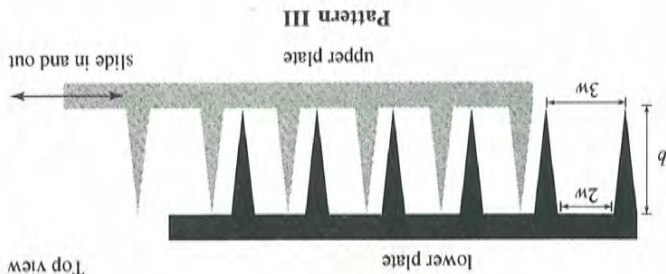
Given the three possible geometrical shapes as Pattern I, Pattern II and Pattern III as follows:



Top view



Top view



Top view

For each pattern, draw qualitatively an expected graph of C versus the positions of the upper plate but label the x-axis. Then, perform the measurement of f versus the positions of the upper plate. Plot graphs and, from these graphs, deduce the pattern of the parallel plate capacitor and its dimensions (values of b and w). The separation (d) between the upper and lower plates is 0.20 mm. The dielectric sheet between the plates has a dielectric constant $K=1.5$. The permittivity of free space $\epsilon_0=8.85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$. Error analysis is not required.

Part 3 Resolution of digital calipers

As the relative position of the parallel plates is varied, the capacitance changes with a pattern. This set-up may be used as digital calipers for measuring length. If the parallel plate capacitor in this experiment is to be used as digital calipers, estimate from the experimental data in Part 2 its resolution; the smallest distance that can be measured for the frequency value $f \approx 5 \text{ kHz}$. An error estimate for the final answer is not required.

2. Mechanical Blackbox: a Cylinder with a Ball inside

A small massive particle (ball) of mass m is fixed at distance z below the top of a long hollow cylinder of mass M . A series of holes are drilled perpendicularly to the central axis of the cylinder. These holes are for pivoting so that the cylinder will hang in a vertical plane. Students are required to perform necessary nondestructive measurements to determine the numerical values of the following with their error estimates:

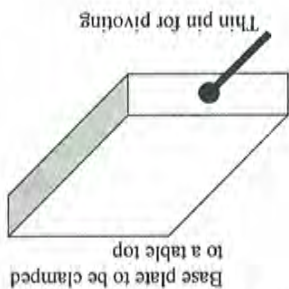
- i. Position of centre of mass of cylinder with ball inside.

Also provide a schematic drawing of the experimental set-up for measuring the centre of mass.

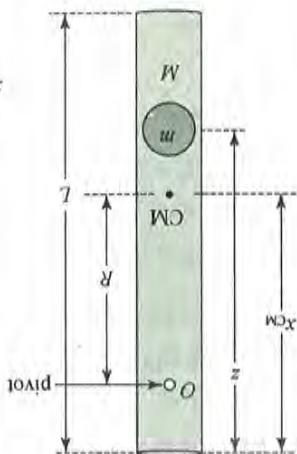
- ii. Distance z .
- iii. Ratio $\frac{M}{m}$.

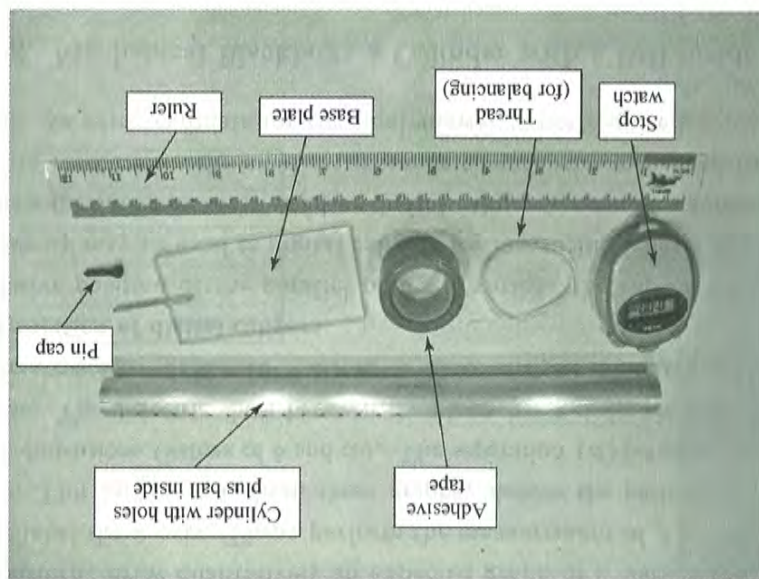
iv. The acceleration due to gravity, g .

Equipment: a cylinder with holes plus a ball inside, a base plate with a thin pin, a pin cap, a ruler, a stop watch, thread, a pencil and adhesive tape.



x_{CM} is the distance from the top of the cylinder to the centre of mass.
 R is the distance from the pivoting point to the centre of mass.





Caution: The thin pin is sharp. When it is not in use, it should be protected with a pin cap for safety.

Useful information:

1. For such a physical pendulum, $\{(M+m)R^2 + I_{\text{cm}}\} \frac{d^2\theta}{dt^2} \approx -g(M+m)R\theta$, where I_{cm}

is the moment of inertia of the cylinder with a ball about the centre of mass and θ is the angular displacement.

2. For a long hollow cylinder of length L and mass M , the moment of inertia about the centre of mass with the rotational axis perpendicular to the cylinder can be approximated by $\frac{1}{2}M\left(\frac{L}{2}\right)^2$.

3. The parallel axis theorem: $I = I_{\text{centre of mass}} + Mx^2$, where x is the distance from the rotation point to the centre of mass, and M is the total mass of the object.

4. The ball can be treated as a point mass and it is located on the central axis of the cylinder.

5. Assume that the cylinder is uniform and the mass of the end-caps is negligible.

附录三 第12届亚洲奥林匹克

物理竞赛试题

理论题^①

理论题1 Shockley-James 佯谬

1905年,为了解决牛顿力学和麦克斯韦电磁理论之间的矛盾,阿尔伯特·爱因斯坦提出了狭义相对论。基于对狭义相对论的正确理解,使许多表面上的佯谬得到解决。那时候,讨论主要集中在电磁波的传播上。

在本题中,我们来解决一种不同类型的佯谬。W. Shockley 和 R. P. James 于1967年提出了一个相当简单的电荷系统,要理解这个系统中线动量的守恒性,需要作仔细的相对论分析。如果一个点电荷处在一个磁化强度变化的磁体附近,这个电荷会受到感应电力的作用,但这个磁体不会受到表现的反作用力。这个过程可以进行得相当慢,这样任何电磁辐射(以及任何由电磁波带走的动量)都可以忽略。这样的话,似乎我们得到了一个发射炮弹时没有反冲的“大炮”。

我们将对这个系统作分析,并要证明,在相对论力学中,一个复合体系可以具有非零的机械动量,而仍然保持静止。

第一部分 作用在点电荷上的冲量

考虑一个半径为 r , 电流为 I_1 的圆形电流环, 以及另一个更大的, 半径 $R \gg r$ 的圆形电流环, 两个环共圆心, 并且在同一平面上。

a. 设电流环2(较大的那个环)中的电流 I_2 在环1中产生的磁通量是 Φ_{B1} 。试给出比值 $M_{21} = \Phi_{B1}/I_2$ 的表达式。 M_{21} 称为互感系数。

b. 已知 $M_{12} = \Phi_{B2}/I_1 = M_{21}$, 试求由于小环中的电流变化 $\dot{I}_1 = dI_1/dt$ 而引起的大环中的总感应电动势 \mathcal{E}_2 。忽略大环中的电流。提示: 感应电动势等于环中磁通量的变化率。

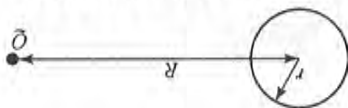
c. 你在“b”中得到的感应电动势是由感应电场的切向分量引起的。试求出在半径 R 处切向电场 E 的表达式(用电流变化率 \dot{I}_1 表示)。

现在我们拿走大电流环, 代之以在半径 R 处放一个带电质点 Q , 如图1所示。可以假设, 在所关心的时间段内该点电荷几乎不怎么动。

d. 试求出在小电流环内电流从初值 $I_1 = I$ 变化到终值 $I_1 = 0$ 过程中, 点电荷受到的总的切向冲量 Δp 。

^① 北京大学物理学院布坤、廖慧敏、陈晓林译。

图1 圆形电流环与点电荷Q



第二部分 电流环受到的反冲

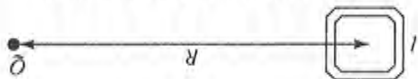
现在,我们要用一个与前述形状不同的电流环,来理解电流环受到的反冲力的来源。

e. 考虑一个空心管,其管壁为不带电绝缘材料,管长为 l ,横截面积为 A ,管内有电流 I ,电流是由均匀分布于管内部的带电粒子运动所产生,每个粒子的静止质量为 m ,带电荷为 q ,其数密度为 n ,假设所有带电粒子均以相同速度沿着管运动,考虑狭义相对论效应,试得出管内带电粒子的总动量 p 。

f. 考虑一个边长为 l 的正方形电流环,在与此环距离为 $R \gg l$ 处有一个点电荷 Q (见图

2),此环中有电流强度为 I 的电流流过,在这里,与“e”中一样,我们采用的电流环模型是一个不带电的绝缘空心管子,载流子可以沿着环自由运动;在环的转角处,载流子与管壁发生弹性碰撞而作直角转向,忽略载流子之间所有的相互作用,并假设管子上同一横断面内所有载流子运动速度相同,假设环很重,其运动可忽略,计算环内载流子的总线动量 p_{lin} ,这个动量称为“隐藏动量”。

图2 正方形电流环与点电荷Q



当电流停止时,此线动量将转移到环上,环获得一个冲量,该冲量与点电荷 Q 受到的冲量大小相等,方向相反,这个冲量就是我们所要找的消失的反冲。(注意在初始状态下,电磁场中也有动量;这保证了整个系统的动量守恒。)

第三部分 总结有关结果

g. 电流环常用其磁矩 $\mu = IS$ 来表征,其中 I 为电流, S 为环面积,试用 μ , r , R 及 Q 来表示“d”部分的答案,同样,试用 μ , l , R 及 Q 来表示“f”部分的答案,注意有关电与磁常数的关系为:

$$\frac{4\pi k}{\mu_0} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} = c^2,$$

其中 c 是光速。

h. 在更真实的模型中,电流环是一条导体电线,而点电荷 Q 所产生的电场不能穿过导体表面而进入导体内,假设电流仍然是由电线中的载流子传导的,试判断以下每个陈述句是否正确,在答题表中对判断结果画圈,提醒:你可以留下某些陈述句不作判断,但若其中一句判断错误,“h”部分将不能得分。

A. 电流环的动量是零。

B. 随着电流环中的总电流由 I 变为零,载流子减速,在电线的导体材料中引起感应电流。

因为产生了感应电流,点电荷 Q 将不会获得净冲量。
 C. 随着电流从 I 变为零,由外部电荷在导线上感应出的表面电荷,将受到一个电场力,这样,电流环获得的冲量将与“ I ”中算出的一样。

理论题 2 嘎吱作响的门

嘎吱作响的现象很常见,开关门和橱柜时,粉笔在黑板上划过时,拉小提琴时,穿新鞋子在地上走时,汽车刹车时,还有日常生活中的很多其它场合都可以发现这种现象,在以色列,类似的现象每隔几十年就会导致一次剧烈的地震,这些地震来源于死海裂谷,而死海正好位于地球上已知最深裂缝的正上方。

嘎吱作响现象的物理机制与弹性以及静摩擦系数和动摩擦系数之间的差异有关,在本题中,我们要探讨此机制,并具体地研究开门的例子。

第一部分 一般模型

考虑如下系统(见图 1):

一个质量为 m 的盒子与一个长的理想弹簧(劲度系数 k)相连,弹簧的另一端以恒定速度 u 被驱动,盒子和地面之间的静摩擦和动摩擦系数分别为 μ_s 和 μ_k ,且 $\mu_k < \mu_s$ 。

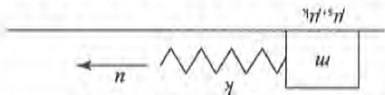


图 1 解释嘎吱作响现象的一般模型

我们要来探讨为什么这个系统可以有下面两种不同形式的运动:

1. 摩擦总是动摩擦,这被叫做纯滑动模式。

2. 动摩擦和静摩擦交替发生,这被叫做黏滞-滑动模式。

黏滞-滑动模式是常见的嘎吱声的来源。

a. 在初始时刻, $t=0$, 盒子在地面上以速度 v_0 滑动, 弹簧的张力恰好与动摩擦力平衡, 假设 $0 < v_0 < u$, 弹簧伸长量 x 将是时间 t 的振荡函数。

a1. 求此振子的振动周期 T_0 和振幅 A 。

a2. 定性地画出 $0 < t < 3T_0$ 时间间隔内, 弹簧的伸长量与时间的关系 $x(t)$ 。

b. 现在考虑 $t=0$ 时盒子静止, 而弹簧的初始伸长量 x 与“a”部分中相同时的情况, 定性地画出 $0 < t < 3T$ 时间间隔内, 盒子相对于地面的速度随时间的变化关系 $v(t)$, 其中, T 是(新的)振动 $x(t)$ 的周期, 规定向右运动时速度 v 符号为正, 在你的图上标出 $v=u$ 的那条水平线。

c. 采用“b”部分的初始条件, 求出充分长时间以后弹簧伸长量的时间平均值 \bar{x} 。

d. 采用“b”部分的条件, 求 $x(t)$ 的振动周期 T 。

一般来说, 黏滞-滑动运动在驱动速度 u 很大时会停止, 我们现在来讨论这个现象的可能机制之一。

e. 假定在每一个振动周期 T 中, 由于其它原因, 一小部分能量会以热的形式在弹簧中耗散掉, 令 $\eta = |\Delta A/A|$ 为一个纯滑动周期内, 这种附加能量耗散引起的相对振幅损失系数, 对于

$\eta \ll 1$ 的情况,当驱动速度超过某一临界速度 u_0 后,黏滞-滑动运动将不可能出现,请求出此临界驱动速度 u_c .

“e”部分得到的结果在第二部分中不用到.

第二部分 会嘎吱作响的门

门轴是一半径为 r , 高度为 h , 及壁厚为 Δr 的中空金属圆筒, 如图 2 所示, 此金属圆筒的下端被放置于一个固定在墙上的金属台基上(两者的接触面是一个半径为 r 的圆环). 圆筒的底部与金属台基之间的静摩擦系数及动摩擦系数分别为 μ_s 及 μ_k , 且 $\mu_s < \mu_k$. 圆筒的上部连到门上, 而门可视为刚体, 一般的门都会用上至三个这类的门轴, 但门的重量只会集中于其中一个上, 而就是这个门轴会发出嘎吱声, 发出嘎吱声的门轴会通过金属圆筒的下底将质量为 M 的整扇门的重量加到金属台基上.

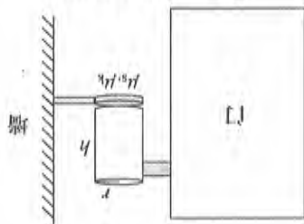
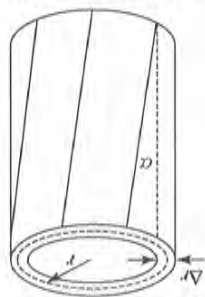


图 2 门的示意图

图 3 扭变后的门轴



构成门轴的金属圆筒并不是刚体——它可以在不改变其外形的情况下发生切向扭曲, 其结果是(如图 3 所示), 垂直线段会倾斜, 与原来方向成大小为 α 的小倾角. 由于形变而在圆筒底面面积元 dS 上产生的弹性力为:

$$dF = G\alpha dS,$$

其中, G 为剪切模量, 为材料的一种力学性质, 题中各量的数值取为: $r = 5 \text{ mm}$, $h = 3 \text{ cm}$, $\Delta r = 1 \text{ mm}$, $\mu_s = 0.75$, $\mu_k = 0.55$, $G = 8 \times 10^{10} \text{ Pa}$, $M = 30 \text{ kg}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. 你可以使用 $\Delta r \ll r$ 的近似.

f. 我们从平衡状态(零转矩)开始缓慢地转动门. 对于很小的转动角度, 请给出转矩系数 $\kappa = \tau/\theta$ 的表达式, 其中, τ 是使门转过角度 θ 时需加在门上的转矩.

g. 在角速度很小的情况下, 当圆筒底部与台基间从相对静止转为滑动时, 便会发出一个声脉冲. 求: 当此声脉冲的频率进入可听域 $f = 20 \text{ Hz}$ 时, 门转动的角速度 Ω . 假设圆筒做纯滑动振动时的频率 $f_0 \gg f$. 要求给出表达式和数值结果.

理论题 3 生日气球

图 1 是一个在生日聚会上常见的长形橡皮气球. 一个未被完全充气的气球通常会分裂成具有不同半径的两部分. 在这个问题中, 我们考虑一个简化

的模型来理解这个现象.

气球可以被当作一个长的均匀圆柱体(除了两个末端之

外), 还有一个可以对气球充气的吹气口. 所有过程都被当作

室温下的等温过程来考虑. 在所有时刻, 气球内部的气压 P

图 1 一个部分充气的气球



都比大气压 P_0 只大一点,所以可以把空气当成不可压缩流体来对待,重力和气球的重量也可忽略,充气过程是缓慢的、准静态的,在问题“a”到“d”部分,气球在它整个长度上被均匀充气,我们用 r_0 和 L_0 分别表示气球充气之前的半径和长度。

a. 固定气球一端的吹气口,气球的其它部分自由悬挂着,确定纵向表面张力(沿平行于气球轴线方向) σ_L 和横向表面张力(沿气球圆形横截面的切向) σ_t 之间的比值 σ_L/σ_t . 橡皮膜的表而张力是:在单位长度上相邻两侧橡皮膜之间的相互作用力。

胡克定律是小张力情形下的真实弹性的线性近似。假设气球的长度保持不变,为 L_0 ,而表面张力 σ_t 线性依赖于充气率 r/r_0 :

$$\sigma_t = k \left(\frac{r}{r_0} - 1 \right). \quad (1)$$

b. 在这些假设下,求出气球内部气压 P 对气球体积 V 的依赖关系的表达式,画出 $P - P_0$ 随 V 变化的函数曲线,从胡克弹性近似得到的最大充气压强 P_{\max} 是多少?

在实际中,由于膨胀比 r/r_0 很大(在图1中,观测到的典型值大约是5),我们必须考虑橡皮的非线性行为,以及气球长度的变化,这些效应会使充气压强高于问题“b”. 预测的压强,在一个典型的气球中, $\sigma_t(r)$ 的变化图像包括三个部分:

1. 对小的膨胀比, $\sigma_t(r)$ 按胡克定律的方式增长。
2. 在 $r \sim r_0$ 附近,气球的长度 L 开始增加,而且 $\sigma_t(r)$ 达到一个长的平台区,在这个区域内 $\sigma_t(r)$ 增长很慢。
3. 在膨胀比很大的时候,橡皮开始强烈抵抗任何进一步的膨胀,这会导致 $\sigma_t(r)$ 急剧增长。

图2描绘了这样的行为。

c. 对行为遵从图2的均匀膨胀气球,定性地画出气压差 $P - P_0$ 随 V 变化的函数曲线,在你的图中标出所有局部极值点,也要标出对应于 $r = 1 \text{ cm}$ 和 $r = 2.5 \text{ cm}$ 点,找出在这两点处 $P - P_0$ 的值,要求精确度为10%。

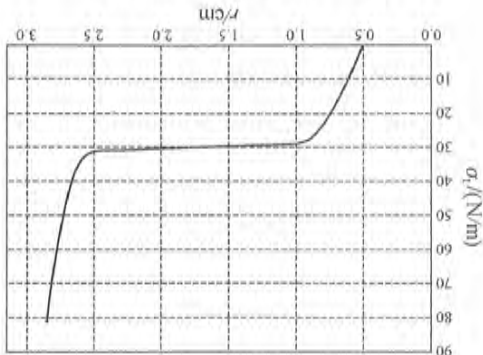


图2 真实情形的 $\sigma_t(r)$ 曲线

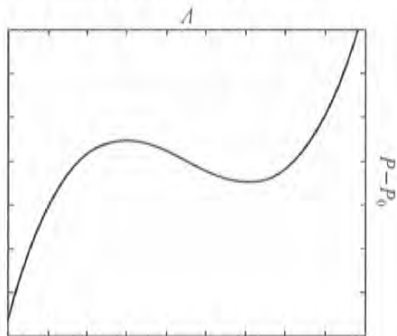


图3 方程(2)的曲线

函数来对 $P(V)$ 作近似:

$$P - P_0 = a((V - u)^3 - b(V - u) + c), \quad (2)$$

其中 a, b, c 和 u 是正的常量,假设体积 u 大于未充气时气球体积 V_0 ,同时假设 c 足够大,使得

函数(2)在整个 $V > V_0$ 的物理范围内都是正的. 见图 3.

气球被连接在一个巨大的气缸上, 气缸的气压 P 可控, 事实上, 气压 P 的某些值可能对应多个体积值 V . 如果处于上述压强, 并在保持该压强恒定的情况下, 对气球进行微小的扰动(比如由外力进行局域拉伸), 气球有可能突然改变其体积, 进入另一个状态. 如果这种“突然改变”能使整个系统末状态能量变得更低(系统包括气球、大气和使气球气压保持在的装置), 这种改变就会发生. 如果气压从 P_0 开始缓慢增加, 且外界的扰动可以足够大, 当气压达到某一值 P_1 时, 就会发生突然的体积改变; 此时, 前后两个状态之间的变化所需要的能量为零, 高于上述气压, 由较小体积变为较大体积将释放能量, 反之则相反. 这种不连续现象在自然界中十分普遍, 有时被称作“相变”.

d. 通过方程(2), 求出: P_0 , 相变前的体积 V_1 , 和相变后的体积 V_2 . 所求结果用 a, b, c 和 n 表示.

考虑更实际的情况, 由一个小孩来对气球进行充气, 该情况下将不能提供足够的空气使得气球的体积突然改变. 相反, 空气将逐渐进入气球, 这相当于控制气球的体积而不是其中的气压. 在这种情况下, 气球将表现出另一种新的行为. 如果有利于整个系统进入最低能量状态, 气球将分裂为两个半径不同的圆柱体(在对其有足够扰动的情况下), 这两部分的长度会逐渐变化. 这两部分的界面上需要能量, 我们在此忽略该能量, 我们在此也忽略界面的长度(这些近似对于一个很长的气球来说是合理的).

e. 定性地画出气压差 $P - P_0$ 随体积 V 变化的函数曲线, 气球的分裂也须列入考虑. 在图轴上标出气压 $P_0 - P_0$ 及体积 V_1 与 V_2 .

f. 气球在某体积范围内能分裂为两个部分. 求出较细部分的长度 L_{\min} 随总空气体积 V 变化的函数, 用体积 V_1, V_2 及较细部分的半径 r_1 表示出所得结果.

g. 气球在某体积范围内会分裂为两个部分. 求, 使较细部分转变为较粗部分, 需对气球所做的单位长度的潜热功: $\Delta W / \Delta L_{\min}$, 用 P_0, V_1, V_2 及较细部分的半径 r_1 表示出所得结果.

实验题^①

实验题 1 导体在振荡磁场中的悬浮

在强度足够大的振荡磁场的作用下, 金属导体是可以悬浮起来的. 悬浮现象是由于作用在导体中的电流的平均磁力不为零而产生的. 电流本身也是由振荡磁场感应而产生的. 磁场和感生电流之间的相位差导致了洛伦兹力的平均值大小不为零. 这个相位差是因导体中电流环路

的自感而产生的.

在本实验中, 我们将研究上述现象, 并通过测量由通有振荡电流的螺旋管施加在铝环上的竖直方向的力, 来导出铝环的自感系数. 为了方便测量, 作用在环上的平均力方向将会指向下方, 故不会观察到悬浮现象.

① 北京大学物理学院范坤、廖慧敏、陈晓林评.

在你的桌子上,应该放着以下物品(图1):

(1) 一个工作频率为50 Hz的交流电源,该电源有两对输出端,其中两个较小插座孔(图中(1a))输出电压约为24 V;这两个插孔只能用于对螺旋线管供电,另外两个较大的插座孔(图中(1b))输出电压约为0.7 V,只有按住绿色按钮(图中(1c))时,电源才会有输出,这是为了防止意外地使电源一直开着而导致电源过热(下文会有解释),电源开启时,红色指示灯会亮。

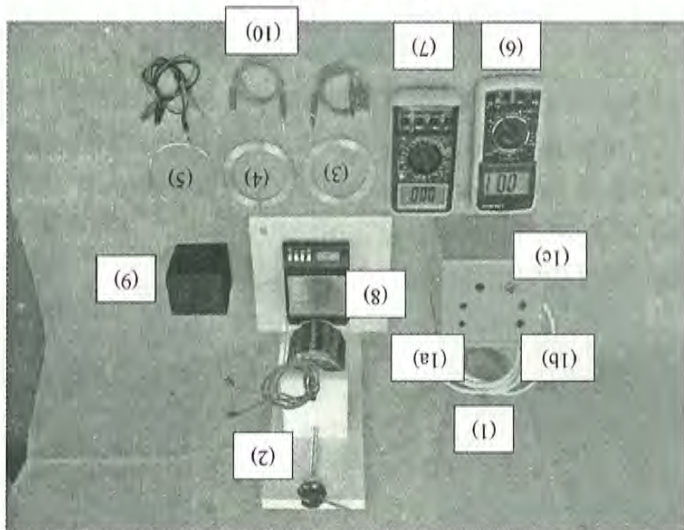


图1 实验装置

(1) 50 Hz电源;(1a) 24 V端口;(1b) 0.7 V端口;(1c) 电源按钮;(2) 安装在竖直螺杆上的螺旋线管;(3) 宽的闭合环;(4) 宽的开口环;(5) 细的开口环;(6) 电压表;(7) 电压表;(8) 数字天平;(9) 聚苯乙烯泡沫块;(10) 导线。

(2) 一个圆柱形带有铁芯的螺旋线管,该螺旋线管应当接在电源的24 V输出端上,螺旋线管的位置可调,通过螺丝杆可以上下调节其位置,螺丝杆的竖直螺距为 $h=1.41\text{ mm}$ 。

(3) —(5) 三个由完全相同的材料(一种铝合金)制成的金属环,其中一个环是闭合的,另一个金属环尺寸与闭合环一样但切掉了一小段,成为一个开口环,最后一个金属环也是开口环,而且比前两个环细很多。

(6) (7) 两个万用表,分别被作为电压表和电流表来使用,交流电压表的灵敏度为 0.1 mV ,电流表的量程为 20 A (交流模式下也是),注意:在交流模式下,万用表将显示被测者的方均根值,即,其振幅除以 $\sqrt{2}$,详细用法见图3及图4。

(8) 使用电池供电的数字天平,灵敏度为 0.01 g ,当天平受到快速振荡变化的力作用时,它将显示出力的时间平均值,注意:天平上有“tare”(去皮)这一按钮,在天平负重时,按下这一按钮,天平示数将被调校归零,见图2。



图2 数字天平
(1) On/Off 按键；(2) “Tare”去皮键——可将当前的重量设为 0。

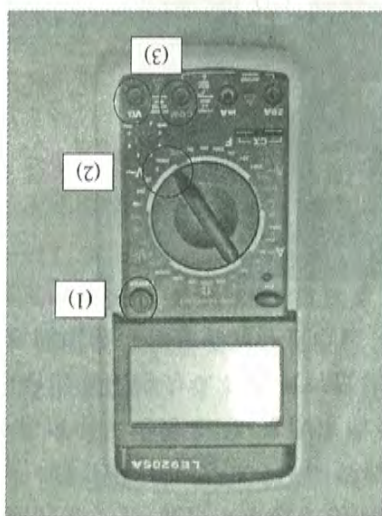


图3 电压表
(1) On/Off 按键；(2) 拨动开关置为 200 mV 交流；(3) 把你的导线接到“COM”和“V/Ω”端口。

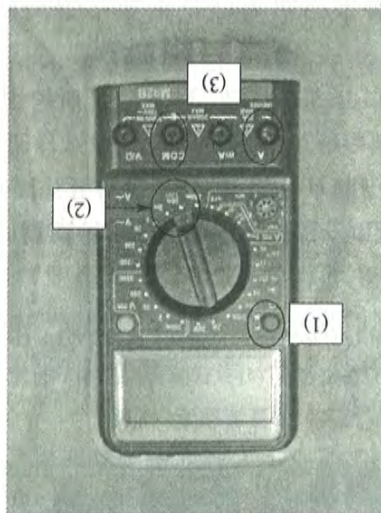


图4 电流表
(1) On/Off 按键；(2) 拨动开关置为 20 mA/20 A 交流；(3) 把你的导线接到“COM”和“A”端口。

- (9) 一个 $8\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ 的聚苯乙烯泡沫块, 该泡沫用于安放金属圈。
 (10) 带有各种不同接头的电线。
 (11) 一把尺子。
 (12) 毫米绘图纸。
 (13) 一盏照明用的台灯。

警告: 当置于螺线管的磁场中时, 闭合金属圈上所带电流的强度将会很大. 金属圈将被此电流加热. 温度变化将使金属圈电学性质有微小改变, 为了避免该误差, 不要对螺线管长时间通电.

特拉维夫的重力加速度大小为 $g = 9.80 \pm 0.01 \text{ N/kg}$.

理论

考虑放置于螺线管磁场内的半径为 r 的导体环. 螺线管的对称轴与导体环的对称轴重合. 导体环的电感记作 L , 电阻记作 R , 螺线管电流的角频率记作 ω . z 轴方向定义为沿着螺线管与导体环的对称轴的方向.

仅仅在题目的这一部分, 你可以忽略掉导体环的磁场对螺线管及其铁芯的微小作用. 同时, 也可以忽略导体环的厚度.

在此部分, 我们将用到法拉第定律, 及磁场的高斯定理:

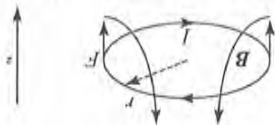
- 法拉第定律: 变化的磁通量在回路上产生的感生电动势是 $\mathcal{E} = -d\Phi_B/dt$.
- 磁场的高斯定理: 穿出闭合面的总磁通量为零.

置于柱对称的磁场 B 中的电流环所感受到的合力为:

$$F(t) = -2\pi r I(t) B_z(t),$$

其中, I 为环中的电流, B_z 为环附近外磁场的径向分量 (沿环半径方向). 力 F 的正方向指向下方——沿 z 方向. 电流 I 的正方向如图 5 所示.

图 5 金属环在螺线管的磁场中



- a. 考虑有外部振荡磁通量 $\Phi_B(t) = \sqrt{2}\Phi_B^{\text{rms}} \sin(\omega t)$ 穿过环的情形. 求: $\mathcal{E}(t)$ ——仅由外部振荡磁通量所产生于圆环上的感生电动势; $I(t)$ ——环内的感生电流. 将 $\mathcal{E}(t)$, $I(t)$ 用 Φ_B^{rms} , L , R , ω 和 t 表示.

提示: 对于既有电感又有电阻的交流电路元件, 其上电动势的振幅 \mathcal{E}_0 以及电流振幅 I_0 的关系为: $\mathcal{E}_0 = I_0 \sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}$, 并且, 电流相对于电动势延迟的相位为 $\delta = \arctan \frac{\omega L}{R}$.

- b. 求 B_z . (以 $r, \frac{d}{dz}\Phi_B$ 表示, z 轴垂直于圆环所在平面.)

c. 证明: $\langle F \rangle = \alpha \frac{L}{L(R^2 + \omega^2 L^2)} \cdot \frac{d\langle \epsilon_{\text{rms}} \rangle^2}{dz}$. 这里, $\langle F \rangle$ 为 F 的时间平均值, $\epsilon_{\text{rms}}(z)$ 为当环处于高度 z 时, 环上感生电动势的方均根值 (即振幅除以 $\sqrt{2}$). 求出: 常量 α . (如果你没有求出

α , 在以后的各部分中, 请把 α 取为 1.)

提示: 以下公式可能有用:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta, \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos\alpha \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta, \\ \langle (\sin(\omega t))^2 \rangle &= \langle (\cos(\omega t))^2 \rangle = \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

测量

在下面所有测量和分析中,给出的结果精度越高,所得的分数也将越高.在你的所有测量和结果中,给出误差估计.

电阻测量

在这部分,你必须使用交流电源的 0.7 V 端口.若用提供的导线把两个 0.7 V 的端口短路,得到的电流会在 5 A 至 10 A 之间,依赖于接触的情况.提醒:相比较于那 2 条较长的导线而言,那 3 条较短导线与电流表接触得更好.警告:为了避免装置过热,此时不要使用 24 V 的端口.

d. 测出细环的电阻 R_{fine} , 在答题表中画出你的接线图.

提示:这里的每一个环的电阻都比 0.1Ω 小得多,而且,对这个细环而言,相对于其电阻值,你可以忽略感抗.

e. 确定出闭合环的电阻 R . 在必要时需添加一些测量.

感应电动势的测量

f. 把螺线管与电源的 24 V 端口相连,安放好宽的开口环,使环的轴线与螺线管的轴线重合.在不同的高度 z (即离螺线管不同距离处),测量环上的感应电动势 \mathcal{E}_{ind} . 在答题表给定的表格中记录你的测量值.画出 \mathcal{E}_{ind} 随 z 变化的函数图(包括趋势线).

力的测量

g. 安放好宽的闭合环,使环的轴线与螺线管的轴线重合.在不同的高度 z (即离螺线管不同距离处),测量环受到的磁力的时间平均值 $\langle F \rangle$. 在答题表给定的表格中记录你的测量值.

分析

h. 在问题“g”中,你测量了不同 z 值的作用力,在这些 z 值处,求出 \mathcal{E}_{ind} 对 z 的微商的对数值 $|\mathrm{d}(\mathcal{E}_{\text{ind}}^2)/\mathrm{d}z|$. 在答题表给定的表格中记录你的值.这一部分不需要误差估计.

i. 使用线性图分析你的结果,来求出闭合环的自感系数 L . 你可以利用 $\omega L < R$ 这一事实.提醒:尽管闭合环有明显的厚度,你在问题“c”中导出的公式仍然有较高的精度.可以把上述结果用作宽环电感的操作型定义.

提示:当环太靠近铁芯时,测量结果将发生偏差.试在你的分析中避开这个麻烦.

实验题 2 光学“黑盒子”

电视和计算机显示屏技术近年来飞速发展.今天的显示屏多为一个彩色液晶屏(LCD),外加一个白色的背光源.在这个实验中,我们将研究一种有希望用于背光照明明型 LCD 的塑料材料.

实验

在你的桌子上,应有以下物品(见图 1):

(1) 实验样品——一块放在幻灯片框中的塑料材料.此样品很脆弱,请务必不要触碰.如要调节样品的位置,请握住其台座来移动.

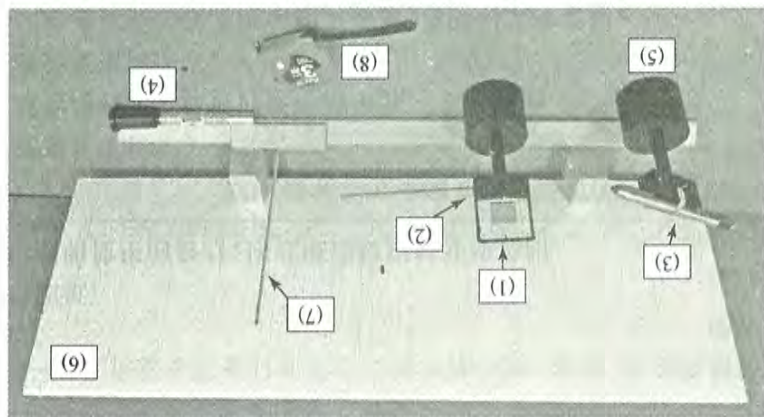


图1 实验装置清单

- (1) 放置在幻灯片框内的塑料样品;(2) 样品台座;(3) LED白光手电筒;(4) 红色激光笔;(5) 光源台座;
 (6) 覆有毫米刻度绘图纸的光屏;(7) 放置在导轨上的木制标志杆;(8) 卷尺。

(2) 幻灯片框被安放在一个台座上,此台座上有一个手柄,通过手柄可以精细旋转上面的样品,请勿将幻灯片框移出台座。

(3) 一个使用白光发光二极管(LED)的电筒,电筒的开关按钮在其非出光端部,请勿将电筒与激光笔混淆(见图2)。

(4) 一支发出红色激光的激光笔,该激光笔上贴有一警告标签,请勿将激光笔与白光电筒混淆(见图2),通过前后推移出光端的黑色笔帽可以将激光笔开启/关闭,请不要尝试拆卸笔帽——这样做比较危险,并可能损坏激光笔,激光笔使用电池作电源,连续使用一小时后激光笔强度便会开始下降,故请非必要时不要开启激光笔,激光笔的波长是 $\lambda = 652 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$ 。



图2 两个光源的特写

(5) 一个可用于分别固定两种光源的支座,实验开始时,固定在支座上的是电筒,放置在桌上的的是激光笔。

(6) 有木质支座的白色屏幕,屏上覆有毫米绘图纸,在屏幕中央有一穿孔,你可以在屏幕

上作记号。

(7) 一个可在木质滑轨上前后滑动的木质标志杆, 你可以在木质滑轨上作记号.

(8) 一把卷尺.

(9) 一把直尺.

(10) 毫米绘图纸.

(11) 一盏供照明使用的台灯, 你可根据需用打开或关闭.

激光笔安全须知:

1. 请勿直视激光束!

2. 要小心从金属表面上反射回来的激光束。

3. 不要将激光笔指向他人。

4. 不要尝试修理或拆卸激光笔。如需帮助, 请呼叫监考老师。

第一部分——理论

a. 一支光线被夹角为 φ 的两平面镜反射(图 3), 请找出入射和出射光线的夹角 γ . 假设所有光线均在一个与两平面镜相交线垂直的平面内.

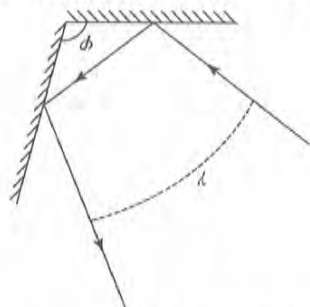


图 3 一束光线被两个镜面反射

第二部分——使用白光光源作测量

你要用白光手电筒做光源来观察样品的透射和反射特性. 图 4 给出了透射和反射两种观察方式的装置放置参考示意图. 注意: 照明光从样品的不同面入射时, 你会看到不同的结果.

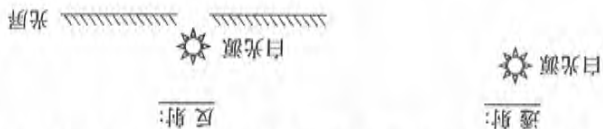


图 4 用白光时的设备放置参考示意图

警告: 为了观察透射光, 你将不得不得通过样品直视手电筒的光线. 对激光, 你千万不要这样直视! 另外, 不要长时间直视手电筒的光线.

b. 图5是样品的4种可能微观结构的示意图。 n 表示该塑料样品的折射率,从中选出最符合你的观察结果的微观结构,注意:图中所示的5个周期只是用来说明,实际情况是; d 很小,样品包含很多个周期。

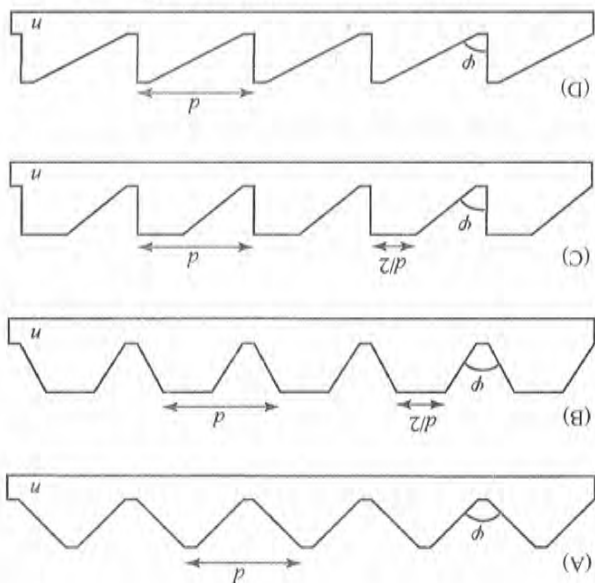


图5 样品的几种可能微观结构

c. 给出样品的 φ 角,并估计其误差。

d. 当一束白光从样品的某一面垂直入射时,在透射光中,在光源右方靠近光源的位置,可观察到如下图所示的暗淡图样(图6).图中,“R”,“G”和“B”分别表示红、绿和蓝,注意:对此图样的观察可能比较困难,因此不要求对它进行测量。



图6 光源附近的暗淡图样

视线再往右移,你会观察到一个明亮得多的图样(图7).

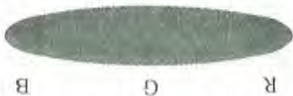


图7 光源的右方更远处的主透光图样

选出正确的选项:

- A. 所有彩色图样都源于干涉.
- B. 所有彩色图样都是由于 n 依赖于波长而产生.
- C. 图6中的彩色图样都来自干涉,而图7的图样则由于 n 依赖于波长而产生.

D. 图 6 中的图样由于 n 依赖于波长而产生, 但图 7 的彩色图样来自干涉.

e. 如问题“d”中一样放置样品和光源, 测量图 7 所示的主透光图样中

紫光(在光谱的最远蓝端)的偏向角 δ_0 . 偏向角在图 8 中定义, 记录下所有中

间测量结果, 给出误差估计.

f. 不同的入射角照射样品, 主透光会有不同的偏向角. 测量主透光图样中

紫光的最小偏向角 δ_{\min} (仅有一个最小偏向角). 记录下所有中间测量结果, 给

出误差估计.

图 8 偏向角 δ_0 . g. 利用问题“c”中得到的角度 φ , 用 δ_0 或 δ_{\min} 把样品的折射率 n 表示出

来. 你可以用到光线传播的可逆性和只存在一个最小的偏转角 δ_{\min} 这个事实.

h. 对紫光, 给出样品的折射率 n , 并作误差估计.

第三部分——用激光笔作测量

拿掉光源台上的电筒, 并以激光笔代替, 并以激光笔来观察透射及反射的图案, 如图

9 所示. 激光笔电量有限——除非必须, 否则不要维持开启状态. 在调光路时, 转动激光笔方向

会更容易.

警告: 切勿直视激光束及其反射光束! 切勿透过样品来观察激光——请以提供的光屏来

观察.

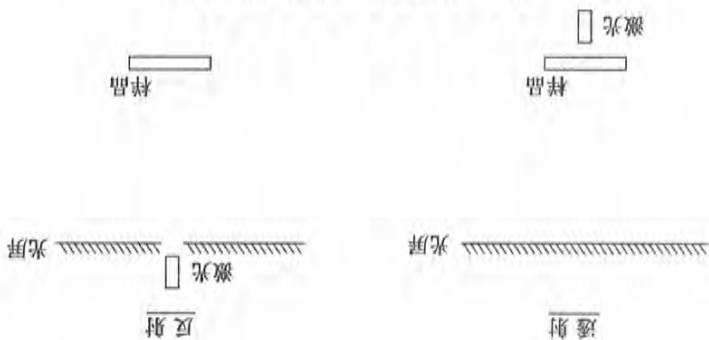


图 9 对于激光, 设备放置参考图

当你轻微旋转样品, 可以在屏上观察到亮纹的亮度会强弱交替变化. 某些亮纹的变暗, 是

由样品中同一“锯齿”上的不同区域之间的相消干涉引起的.

i. 选用图 9 中的一款观察装置, 用激光笔垂直照射向样品. 记录所观察到条纹的偏向角 θ 作

为条纹号 m 的函数. 定义图案中心为 $m=0$. 将有关记录填写于答题表中所提供的表格. 记录

所有中间测量结果, 给出误差估计.

j. 利用一线性图, 求样品中两个相邻锯齿的间距 d . 此图不要求标出误差棒.

k. 利用你在问题“g”所导出的公式, 求出样品在激光红光波长下的折射率 n . 记录新添加

的所有测量数据. 给出误差估计. 警告: 切勿透过样品观察! 请用提供的光屏来观察.

附·英文试题^①

THEORETICAL COMPETITION

Theoretical Question 1 The Shockley-James Paradox

In the year 1905, Albert Einstein proposed the special theory of relativity to resolve the inconsistency between Newton's mechanics and Maxwell's electromagnetism. Proper understanding of the theory led to the resolution of many apparent paradoxes. At the time, the discussion focused mostly on the propagation of electromagnetic waves.

In this question, we solve a paradox of a different type. For a fairly simple system of charges proposed by W. Shockley and R. P. James in 1967, understanding the conservation of linear momentum requires careful relativistic analysis. If a point charge is located near a magnet of changing magnetization, there's an induced electric force on the charge, but no apparent reaction on the magnet. The process may be slow enough that any electromagnetic radiation (and any momentum carried away by it) is negligible. Thus, apparently we get a cannon without recoil.

In our analysis of this system, we will demonstrate that in relativistic mechanics, a composite body may hold a non-zero mechanical momentum while remaining stationary.

Part I Understanding the impulse on the point charge

Consider a circular current loop of radius r carrying a current I_1 , and a second, larger current loop of radius $R \gg r$, concentric with the first and lying in the same plane.

a. A current I_2 passing through loop 2 (the larger loop) generates a magnetic flux Φ_{B1} through loop 1. Find the ratio $M_{21} = \Phi_{B1}/I_2$. It is called the mutual inductance coefficient.

b. Given that $M_{12} = \Phi_{B2}/I_1 = M_{21}$, obtain the total induced EMF \mathcal{E}_2 in the larger loop as a result of a variation $I_1 = dI_1/dt$ of the current in the smaller loop. Neglect the current in the larger loop. Hint: the induced EMF is equal to the rate of change of the magnetic flux through the loop.

c. The EMF you found in part (b) is due to the tangential component of an induced electric field. Obtain an expression for the tangential electric field E at radius R as a function of the rate of change I_1 of the current.

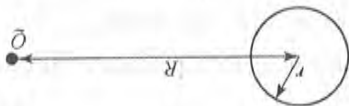


Figure 1 A circular current loop and a point charge Q

^① 英文试题及解答可从官方网站 <http://apho2011.tau.ac.il/> 下载。

We now remove the larger current loop, and instead put a massive point charge Q at radius R , as shown in Figure 1. It may be assumed that the charge moves very little during the relevant time periods.

d. Find the total tangential impulse Δp received by the point charge as the current in the small loop changes from an initial value $I_1 = I$ to the final value $I_2 = 0$.

Part II Understanding the recoil of the current loop

We will now understand the origin of the recoil of the loop, using a loop of different geometry.

e. Consider a hollow tube with walls made of a neutral insulating material of length l

and cross section A carrying an electric current I . The current is due to charged particles of rest mass m and charge q distributed homogeneously inside the tube with number density n .

Assume that the charged particles are all moving along the tube with the same velocity. Find the total momentum p of the charged particles in the tube, taking Special Relativity effects into account.

f. Consider a square current loop with side l . At a distance $R \gg l$ from the loop, there is

a point charge Q ; see Figure 2. The loop carries current I . We will model the current loop as a neutral tube, as in part (e). The charge carriers can move freely along the loop, colliding

elastically with the walls and making elastic right turns at the corners. Neglect all interactions among the charge carriers. Assume also that all the charge carriers at a given

section along the tube always move with the same velocity. Assume that the loop is heavy and that its motion can be neglected. Calculate the total linear momentum p_{lin} of the charge

carriers in the loop. It is called "hidden momentum".

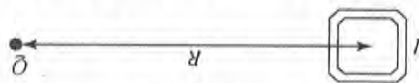


Figure 2 A square current loop and a point charge Q

When the current stops, this linear momentum is transferred to the loop, and it gets an impulse equal to minus the impulse received by the point charge Q . This is the missing recoil that we were looking for (note that in the initial state there is also momentum in the electromagnetic field; this is important for conservation of the total momentum of the entire system).

Part III Summarizing the results

g. Current loops are often characterized by their magnetic moment $\mu = IS$, where I is

the current and S is the loop's area. Express the answer to part (d) in terms of μ, r, R and Q . Likewise, express the answer to part (f) in terms of μ, l, R and Q . Note that the electric

and magnetic constants are related by:

$$\frac{4\pi k}{1} = \frac{\epsilon_0 \mu_0}{1} = c^2,$$

where c is the speed of light.

h. In a more realistic model, the current loop is a conducting wire, and the field of the point charge Q does not penetrate into the conductor. We assume that the current is still conducted by charge carriers inside the wire. Decide whether each of the following statements is true or false, and circle the correct option in the Answer Form.

Note: You may leave a statement undecided, but if you decide incorrectly, you will not get credit at all for part (h).

A. The linear momentum of the current loop is zero.

B. As the total current in the loop changes from I to zero, the charge carriers decelerate, causing induced currents in the wire's conducting material. Because of these induced currents, the point charge Q will not get a net impulse.

C. The surface charges on the wire, induced by the presence of the external charge, will experience an electric force as the current changes from I to zero. This way, the loop will get the same impulse as found in part (f).

Theoretical Question 2 Creaking Door

The phenomenon of creaking is very common, and can be found in doors, closets, chalk squeaking on a blackboard, playing a violin, new shoes, car brakes and other systems from everyday life. Here in Israel, a similar phenomenon causes violent earthquakes with a period of several decades. These originate in the Dead Sea rift, located right above the deepest known break in the earth's crust.

The physical mechanism for creaking is based on elasticity combined with the difference between the static and the kinetic friction coefficients. In this question, we will study this mechanism and its application to the case of an opening door.

Part I General model

Consider the following system (see Figure 1):

A box with mass m is attached to a long ideal spring with spring constant k , whose other end is driven at a constant velocity u . The static and the kinetic friction coefficients between the box and the floor are given respectively by μ_s and μ_k , where $\mu_k < \mu_s$.

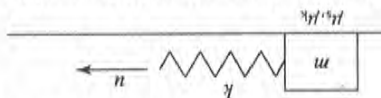


Figure 1 A general model for creaking

We would like to understand why this setup supports two different forms of motion:

1. The friction is always kinetic. This is known as a **pure slip** mode.
2. Kinetic and static friction alternate. This is known as a **stick-slip** mode. Stick-slip motion is the source of the creaking sound commonly encountered.

a. Consider the case where at the initial time $t = 0$, the box slides on the floor with velocity v_0 , and the spring's tension exactly balances the kinetic friction. Assume $0 < v_0 < u$.

The spring's elongation x will oscillate as a function of t .

a1. Find the period T_0 and the amplitude A of these oscillations.

a2. Sketch a qualitative graph of the spring's elongation $x(t)$ for $0 < t < 3T_0$.

b. Now, consider the case where at $t = 0$ the box is at rest, while the initial spring

elongation x is the same as in part (a). Sketch a qualitative graph of the velocity $v(t)$ of the

box with respect to the floor for $0 < t < 3T$, where T is the (new) period of the oscillations

$x(t)$. Motion to the right corresponds to a positive sign of v . Indicate approximately on your

graph the horizontal line $v = u$.

c. For the initial conditions of part (b), find the time-averaged value \bar{x} of the spring's

elongation after a sufficiently long time has passed.

d. For the conditions of part (b), find the period T of the oscillations $x(t)$.

Generically, stick-slip motion stops at high driving velocities u . We will now discuss one

of the possible mechanisms behind this effect.

e. Suppose that during each period T , a small amount of energy is dissipated into heat in

the spring, via an additional mechanism. Let $\eta = |\Delta A/A|$ be the fractional amplitude loss per

period due to dissipation in pure-slip motion. For $\eta \ll 1$, find the critical driving velocity u_c

above which periodic stick-slip becomes impossible.

The results of part (e) are not required for part II.

Part II Application to creaking door

A door hinge is a hollow, open-ended metal cylinder with radius r , height h and

thickness Δr . The lower end of the cylinder lies on a metal base attached to the wall (the

area of contact is a ring of radius r); see Figure 2. The static and the kinetic friction

coefficients between the cylinder and its base are μ_s and μ_k respectively, with $\mu_k < \mu_s$. The

upper end of the cylinder is attached to the door, which can be regarded as perfectly rigid. A

typical door hangs on two or three such hinges, but its weight is concentrated on only one of

them - this is the hinge that will creak. The cylinder of that hinge presses down on its metal

base with the weight of the entire door, whose mass is M .

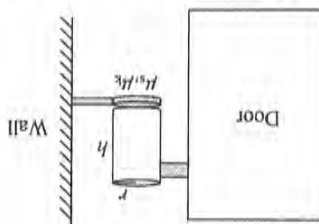


Figure 2 Schematic drawing of a door

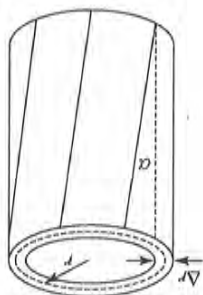


Figure 3 The twisted hinge cylinder

The cylinder is not a perfectly rigid body - it can twist tangentially without changing its overall form, so that vertical line segments become tilted with a small angle α ; see Figure 3.

The elastic force on a small area element dS of the base due to this deformation is given by:

$$dF = G \alpha dS,$$

where G is a material property known as the shear modulus. Use the values $r = 5 \text{ mm}$, $h = 3 \text{ cm}$, $\Delta r = 1 \text{ mm}$, $\mu_s = 0.75$, $\mu_k = 0.55$, $G = 8 \times 10^{10} \text{ Pa}$, $M = 30 \text{ kg}$, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. You may use the approximation $\Delta r \ll r$.

f. We start rotating the door very slowly from equilibrium (zero torque). For small rotation angles, obtain an expression for the torsion coefficient $\kappa = \tau/\theta$, where τ is the torque which must be applied to rotate the door by an angle θ .

g. At very low angular velocity, when a transition from stick to slip occurs, a sound pulse is emitted. Find the angular velocity Ω of the door for which the frequency of these pulses enters the audible range at $f = 20 \text{ Hz}$. Assume that the frequency of f_0 pure-slip oscillations in the hinge is much higher: $f_0 \gg f$. Provide an expression and a numerical result.

Theoretical Question 3 Birthday Balloon

The picture shows a long rubber balloon, the kind that is popular at birthday parties. A partially inflated balloon usually splits into two domains of different radii. In this question, we consider a simplified model to help us understand this phenomenon.



Figure 1 A partially inflated birthday balloon

Consider a balloon with the shape of a long homogeneous cylinder (except for the ends), with a mouthpiece through which the balloon can be inflated. All processes will be considered isothermal at room temperature. At all times, the pressure P inside the balloon exceeds the atmospheric pressure P_0 by a small fraction, so the air may be treated as an incompressible fluid. Gravity and the balloon's weight may also be neglected. The inflation is slow and quasistatic. In parts (a)–(d), the balloon is inflated uniformly throughout its length. We denote by r_0 and L_0 the radius and length of the balloon before it was inflated.

a. The balloon is held by the mouthpiece, while its other parts hang freely. Find the ratio σ_l/σ_t between the longitudinal surface tension σ_l (in the direction parallel to the balloon's axis) and the transverse surface tension σ_t (in the direction tangent to the balloon's circular cross-section). The surface tension of a rubber film is the force that adjacent parts exert on each other, per unit length of the boundary.

Hooke's Law is a linear approximation of real-world elasticity for small tensions. Assume that the balloon's length remains constant at L_0 , while the surface tension σ_t depends linearly on the inflation ratio r/r_0 :

(1)

$$\sigma_1 = k \left(\frac{r}{r_0} - 1 \right).$$

b. With these assumptions, obtain an expression for the dependence of the pressure P inside the balloon on the balloon's volume V . Sketch a plot of $P - P_0$ as a function of V . What is the maximal inflation pressure P_{\max} resulting from Hooke's elasticity approximation? In reality, because the inflation ratio r/r_0 is large (in Figure 1, typical values of about 5 can be observed), one must consider non-linear behavior of the rubber and changes in the balloon's length. These effects allow higher inflation pressures than predicted by part (b). In a typical balloon, the graph of $\sigma_1(r)$ is composed of three pieces:

1. For small inflation ratios, $\sigma_1(r)$ grows in a Hooke-like manner.

2. At $r \sim r_0$ the balloon's length L begins to increase, and $\sigma_1(r)$ reaches a long plateau where it grows very slowly.

3. At some large inflation ratio, the rubber starts strongly resisting any further stretch, which leads to a sharp rise in $\sigma_1(r)$.

This behavior is depicted in Figure 2.

c. Sketch a qualitative plot of the pressure difference $P - P_0$ as a function of V for a uniformly inflated balloon that behaves according to Figure 2. Indicate any local extremum points on your plot. Indicate also the points corresponding to $r = 1\text{cm}$ and $r = 2.5\text{cm}$. Find the values of $P - P_0$ at these two points with 10% accuracy.

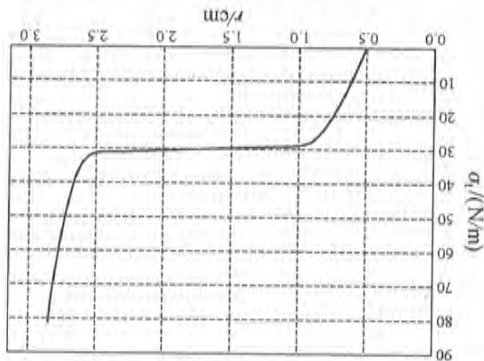


Figure 2 $\sigma_1(r)$ for a realistic party balloon.

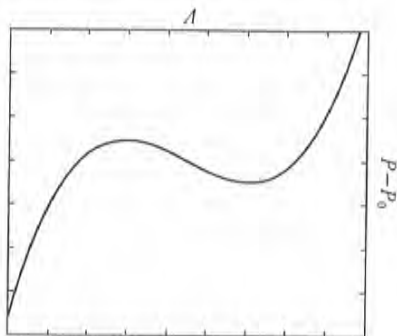


Figure 3 A plot of Equation (2)

To explore the consequences of the behavior you found in part (c), we approximate $P(V)$ for a uniformly inflated balloon with a cubic function:

$$P - P_0 = a((V - u)^3 - b(V - u) + c), \quad (2)$$

where a, b, c and u are positive constants. Assume that the volume u is larger than the balloon's uninflated volume V_0 , and c is large enough so that the function (2) is positive in the entire physical range $V > V_0$. See Figure 3.

The balloon is attached to a large air reservoir maintained at a controllable pressure P . It may happen that some values of P are consistent with more than one value of the volume

In an oscillating magnetic field of sufficient strength, levitation of a metal conductor becomes possible. The levitation occurs due to a non-zero mean magnetic force exerted on currents in the conductor. The currents are induced by the alternating field itself. The Lorentz force doesn't average to zero because of a phase shift between the current

Oscillating Magnetic Field

Experimental Question 1 Levitation of Conductors in an

EXPERIMENTAL COMPETITION

V. If the balloon suffers occasional perturbations (such as local stretching by external forces) while held at such inflation pressure, it may jump to a state of different volume. This will happen when it becomes energetically favorable for the entire system, consisting of the balloon, the atmosphere and the machinery maintaining the pressure P . If the pressure is slowly increased from P_0 , and sufficient perturbations exist at every step, this explosive volume jump will happen at a certain pressure P_c where the energy required to move between the two states is zero. Above this pressure, going from the smaller volume to the larger volume branch releases energy, and vice versa. This type of discontinuity is often found in nature, and is sometimes referred to as a "phase transition".

d. By considering Equation (2), obtain the value of P_c , the volume V_1 of the balloon before the jump, and the volume V_2 after the jump. Express your answers using a, b, c and n .

A more realistic inflating agent, such as a birthday boy, is unable to supply enough air for the instantaneous volume change described above. Instead, air is pumped gradually into the balloon, effectively controlling the balloon's volume rather than the pressure. In this case, a new type of behavior becomes possible. If it helps to minimize the total energy of the system, the balloon will split (given sufficient perturbations) into two cylindrical domains of different radii, whose lengths will gradually change. The splitting boundary itself requires energy, which you may neglect. We shall also neglect the length of the boundary layer (these assumptions are valid for a very long balloon).

e. Sketch a qualitative graph of the pressure difference $P - P_0$ as a function of V , taking the split into account. Indicate on your axes the pressure $P_c - P_0$ and the volumes V_1 and V_2 .

f. The balloon is in the volume range that supports two coexisting domains. Find the length L_{thin} of the thinner domain as a function of the total air volume V . Express your answer in terms of V_1, V_2 and the radius r_1 of the thinner domain.

g. The balloon is in the volume range that supports two coexisting domains. Find the latent work $\Delta W / \Delta L_{\text{thin}}$ that must be performed on the balloon to convert a unit length of the thin domain into the thick domain. Express your answer in terms of P_c, V_1, V_2 and the radius r_1 of the thinner domain.

oscillations and the magnetic field oscillations. This phase shift is a result of the self-inductance of the current loops within the conductor.

In this experiment, we study this phenomenon and deduce the self-inductance of an aluminum ring from measuring the vertical force applied to it by a solenoid with an oscillating current. For measurement convenience, the mean force on the ring will be directed downwards, so levitation will not be observed.

On your desk, you have the following items (Figure 1):

(1) An AC power supply operating on 50 Hz. The power supply has two pairs of terminals. The two smaller sockets (1a) supply a voltage of about 24V; use these only for running current through the solenoid. The two larger sockets (1b) supply a voltage of about 0.7 V. The power supply is turned on only when the green button (1c) is pressed - this is in order to prevent overheating the system by accidentally leaving the current on, as further explained below. The red light bulb indicates when the power supply is on.

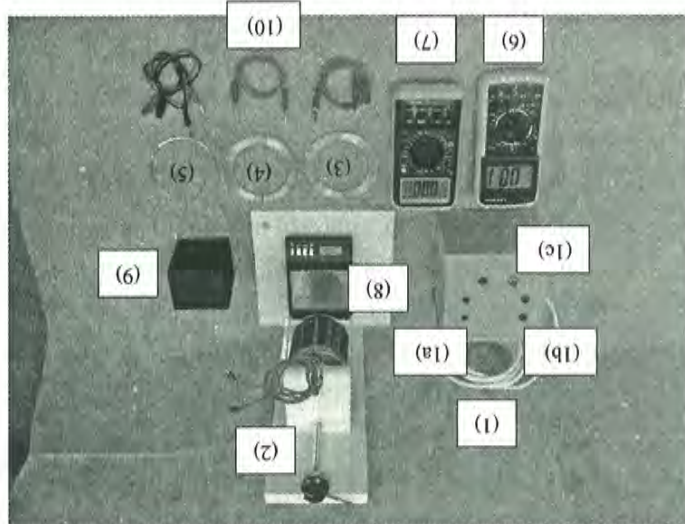


Figure 1 Summary of the equipment

- (1) 50 Hz power supply; (1a) 24 V terminals; (1b) 0.7 V terminals; (1c) Power button;
- (2) Solenoid on a vertical screw; (3) Broad closed ring; (4) Broad open ring; (5) Thin open ring; (6) Voltmeter; (7) Ammeter; (8) Scales; (9) Polystyrene block; (10) Wires.

(2) A cylindrically symmetric solenoid filled with iron rods. The solenoid is connected to the 24 V terminals of the power supply. The solenoid can be raised and lowered using a long screw. The screw's vertical step is $h = 1.41$ mm.

(3) — (5) Three metal rings made of exactly the same material (an alloy of aluminum). One ring is closed. The second ring is identical to the first except for a short segment which was removed, making the ring open. The third ring is also open, and is much thinner than the first two.

(6) (7) Two multimeters. They will be used as a voltmeter and an ammeter. The AC voltmeter's sensitivity is 0.1 mV. The ammeter can measure currents of up to 20A (also in

AC mode). **Note:** in AC mode, the multimeters display the RMS (root-mean-square) of the measured quantity, i. e. the amplitude divided by $\sqrt{2}$. See Figures 3 and 4 for detailed instructions.



Figure 2 The digital scale
 (1) On/Off button (2) "Tare" button-sets the current weight as 0.

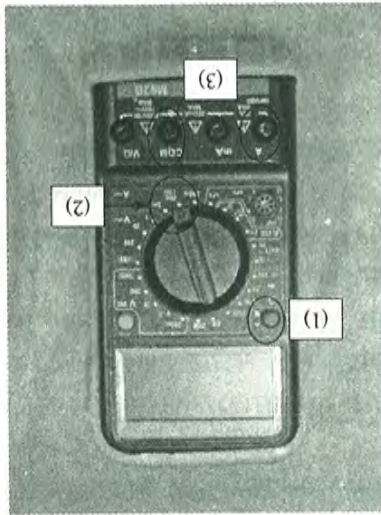


Figure 4 The ammeter
 (1) On/Off button; (2) The dial is set to 20 mA/20 A AC; (3) Connect your wires to the "COM" and "A" terminals.

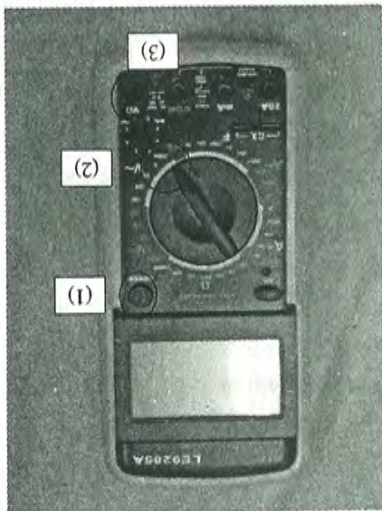


Figure 3 The voltmeter
 (1) On/Off button; (2) The dial is set to 200 mV AC; (3) Connect your wires to the "COM" and "V/Ω" terminals.

(8) A battery-powered digital scale with sensitivity 0.01g. When the scale experiences a rapidly oscillating force, it displays the time-averaged force. **Note:** the scale has a "tare" option, which calibrates its reading under a given weight to zero. See Figure 2.
 (9) An 8cm×7cm×7cm polystyrene block which can be used as a stand for the rings.

(10) Electric wires with various connectors.

(11) A ruler.

(12) Millimeter graph paper.

(13) A desktop lamp which can be turned on or off for your convenience.

Cautions: when the closed ring is exposed to the solenoid's magnetic field, a large current flows through it, heating it up. As a consequence, the ring's electrical properties may change slightly. To avoid this, don't run a current through the solenoid for long periods of time.

The earth's gravity field in Tel Aviv is $g = 9.80 \pm 0.01 \text{ N/kg}$.

Theory

Consider a conducting ring of radius r placed in the solenoid's magnetic field. The symmetry axes of the solenoid and the ring coincide. Denote the ring's inductance by L , its resistance by R , and the angular frequency of the solenoid's current by ω . Define z as the coordinate along the common symmetry axis of the solenoid and the ring.

In this part only, you may neglect the small effect of the ring's magnetic field on the solenoid and the iron. Also, neglect the thickness of the ring.

In this part, we'll use Faraday's law, and the magnetic version of Gauss's law:

● Faraday's law: The induced EMF (electromotive force) on a loop generated by a changing magnetic flux is $\epsilon = -d\Phi_B/dt$.

● The magnetic Gauss law: the total magnetic flux through a closed surface is zero.

A current loop placed in a cylindrically symmetric magnetic field B experiences a total force

$$F(t) = -2\pi r I(t) B_r(t),$$

where I is the current in the loop, and B_r is the radial

component (in the direction of the loop's radius) of the

external magnetic field in the loop's vicinity. The positive

direction of the force F is downwards - in the z direction. The

positive direction of the current is shown in Figure 5.

a. Consider an oscillating external magnetic flux $\Phi_B(t) =$

$$\sqrt{2}\Phi_B^{\text{rms}} \sin(\omega t)$$

through the ring.

Find $\epsilon(t)$ - the EMF induced by the given flux only, and $I(t)$ - the current I induced in the ring, as functions of Φ_B^{rms} , L , R , ω and t .

Hint: The EMF amplitude ϵ_0 and the current amplitude I_0 on an AC circuit element

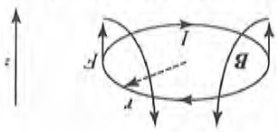
with both resistance and inductance are related by $\epsilon_0 = I_0 \sqrt{\omega^2 L^2 + R^2}$, and the current is

delayed by a phase $\delta = \arctan \frac{R}{\omega L}$ with respect to the EMF.

b. Find B_r in terms of r and $\frac{d}{dz}\Phi_B$, where z is the coordinate along the axis

perpendicular to the ring's plane.

Figure 5 The metal ring in the solenoid's magnetic field



c. Show that $\langle F \rangle = a \frac{(Rz + \omega^2 Lz^2)}{L} \cdot \frac{d(\epsilon_{rms}^2)}{dz}$, where $\langle F \rangle$ is the time averaged value of F ,

$\epsilon_{rms}(z)$ is the RMS (root-mean-square, i. e., amplitude divided by $\sqrt{2}$) of the EMF on a loop at height z . Find the constant a (if you do not find a , in later parts, take the magnitude of a to be 1).

Hint: you may find the following identities useful:

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta, \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos\alpha \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta, \\ \langle (\sin(\omega t))^2 \rangle &= \langle (\cos(\omega t))^2 \rangle = \frac{1}{2}. \end{aligned}$$

Measurements

In all of the following measurements and analysis, take into account that results with higher precision will receive higher grades. In all of your measurements and results, specify error estimations.

Resistance measurements

In this part, you should use the 0.7 V terminals of the AC power supply. Using the supplied wires to short-circuit the two 0.7 V terminals should result in a current of 5A—15A, depending on the contacts. Note that the three shorter wires achieve a better contact with the ammeter than the two longer ones. CAUTION: Don't use the 24 V terminals, to avoid overheating the components.

d. Find the resistance R_{thin} of the thin ring. Draw your circuit on the answer form.

Hint: the resistance of each of the rings is much smaller than 0.1 Ω . For the thin ring, you can neglect the inductive impedance with respect to the resistance.

e. Find the resistance R of the closed ring. Make additional measurements as necessary.

Measurements of the induced EMF

f. Connect the solenoid to the 24 V terminals of the power supply. Place the broad open ring so that its axis coincides with the axis of the solenoid. Measure the induced EMF ϵ_{rms} on the ring at different heights z , i. e., at different distances from the solenoid. Record your measurements in the provided table on the answer form. Plot a graph of ϵ_{rms} as a function of z (with a trend line).

Measurements of the force

g. Place the broad closed ring so that its axis coincides with the axis of the solenoid. Measure the time-averaged magnetic force $\langle F \rangle$ on the ring at different heights z , i. e., at different distances from the solenoid. Record your measurements in the provided table on the answer form.

Analysis

h. Find the absolute value of the derivative $|d\epsilon_{rms}^2/dz|$ of ϵ_{rms}^2 with respect to z , for values of z where you measured the force in part (g). Record your values in the provided table on the answer form. Error estimations are not required in this part.

i. Analyze your results using a linear graph to find L - the inductance of the closed ring. You may use the fact that $\omega L < R$.

Note: Despite the noticeable thickness of the closed ring, the formula you derived in part (c) still applies with a high accuracy. Use it as an operational *definition* for the inductance of a broad ring.

Hint: When the ring is too close to the iron, the measurements will be distorted. Try to avoid this complication in your analysis.

Experimental Question 2 An Optical "Black Box"

TV and computer screens have advanced significantly in recent years. Today, most displays consist of a color LCD filter matrix and a uniform white backlight source. In this experiment, we will study a sample of plastic material which was considered for use as an ingredient in the backlight illumination of LCD screens.

Equipment

On your desk, you have the following items (see Figure 1):

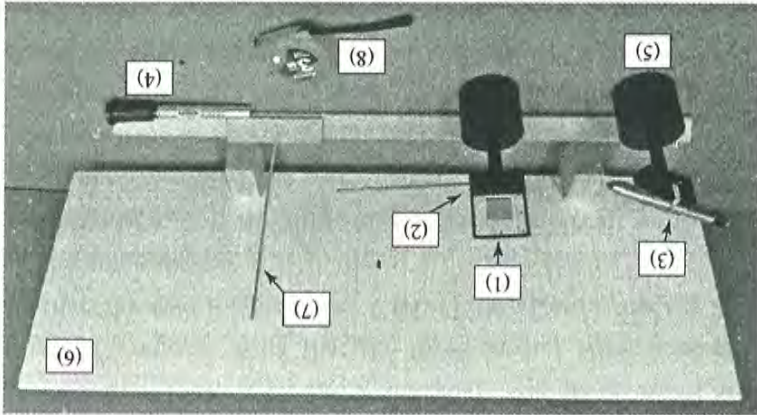


Figure 1 Summary of the equipment

(1) The plastic sample; (2) Sample holder and stand; (3) White LED flashlight; (4) Red laser; (5) Stand for light source; (6) Screen covered with millimeter graph paper; (7) Wooden stake on bench; (8) Tape measure.

(1) The sample - a piece of plastic material fixed in a slide frame. The sample is sensitive - do not touch it. To adjust the sample's position, use its holder and stand.

(2) A holder and stand for the slide frame. The stand includes a handle which can be used for fine rotations of the sample. Do not remove the slide frame from its holder.

(3) A white LED flashlight. The flashlight can be turned on and off using a button at its rear end. Do not confuse it with the laser (see Figure 2).

(4) A red laser pointer. The laser is marked with a warning label. Do not confuse it with the white flashlight (see Figure 2). The laser may be turned on and off by moving its black cap back and forth. Don't try to remove the cap - it may be dangerous, and you may break the

laser. The laser's battery will weaken after about an hour - do not keep it turned on longer than necessary. The laser's wavelength is $\lambda = 652 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$.



Figure 2 Close-up of the two light sources

(5) A single stand to be used for the two light sources. At the start of the experiment, the flashlight is fixed to the stand, while the laser lies on the desk.

(6) A white screen on wooden legs, covered with millimeter graph paper. There is a hole near the middle of the screen. You are allowed to make markings on the screen.
 (7) A wooden stake that can be moved back and forth on a wooden bench. You are allowed to make markings on the bench.
 (8) A tape measure.
 (9) A ruler.
 (10) Millimeter graph paper.
 (11) A desktop lamp which can be turned on or off for your convenience.

LASER SAFETY:

1. Do not stare into the laser beam!
 2. Beware of reflection from metallic surfaces.
 3. Do not point the laser at others.
 4. Do not try to repair or disassemble the laser.
- Call a supervisor if you require assistance.

Part I Theory

a. A light ray is reflected from two mirrors which meet at an angle ϕ (Figure 3). Find the angle γ between the incoming and outgoing rays. Assume that all light rays lie in the plane perpendicular to the mirrors' intersection line.

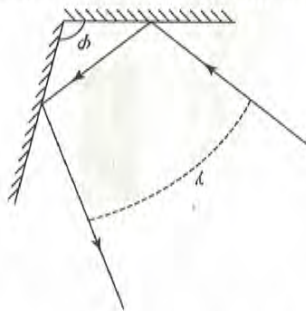


Figure 3 A light ray reflected from two mirrors

Part II Measurements with white light

Using the white flashlight as your light source, you may observe both the transmission and the reflection properties of the sample. Figure 4 illustrates the suggested setups for both types of observation. Note: you may observe different results when illuminating the two sides of the sample.

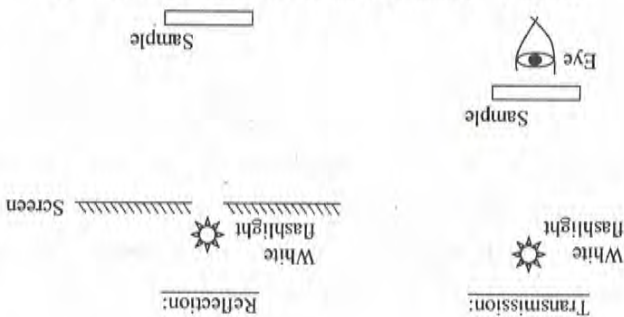


Figure 4 Suggested observation setups for white light

CAUTION: For viewing transmitted light, you will have to look directly into the flashlight beam through the sample. **Don't do this with the laser!** Also, avoid looking directly into the flashlight itself for long periods of time.

b. Figure 5 illustrates schematically four possibilities for the sample's microscopic structure. n stands for the refractive index of the plastic. Choose the structure that best fits your observations. Note: the 5 periods shown in the figure are for illustration only. In reality, d is small, and the sample contains many periods.

c. Find the angle φ for the sample and estimate its error.

d. When a perpendicular white light beam is incident on the sample from one of its sides, the following faint pattern can be observed in the transmitted light, slightly to the right from the source (Figure 6). "R", "G" and "B" stand for red, green and blue respectively. Note: this pattern may be difficult to observe, and measurements on it are not required.

Choose the correct option:
 A. All the colored patterns result from interference.
 B. All the colored patterns result from the dependence of n on the wavelength.
 C. The patterns depicted in Figure 6 result from interference, while the pattern depicted in Figure 7 results from dependence of n on the wavelength.
 D. The patterns depicted in Figure 6 result from the dependence of n on the wavelength, while the pattern depicted in Figure 7 results from interference.
 e. With the white light set up as in part (d), measure the deflection angle δ_0 of violet light (at the far blue end of the spectrum) for the dominant peak depicted in Figure 7. The deflection angle is defined in Figure 8. Record all intermediate measurements. Provide error estimates.

Figure 7 Bright pattern farther to the right from the light source

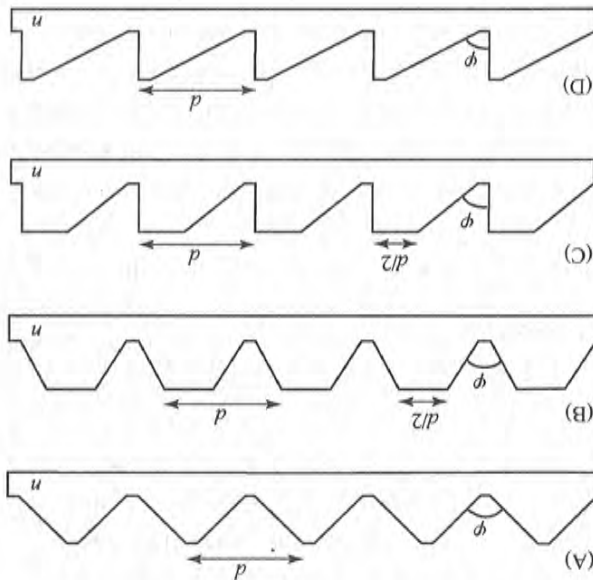


Further to the right you may observe a much brighter pattern (Figure 7):

Figure 6 Faint pattern near the light source



Figure 5 Different possibilities for the sample's structure



f. Illumination of the sample at different angles of incidence results in different deflection angles for the dominant transmitted peaks. Measure the minimal deflection angle δ_{\min} of the dominant peak for transmitted violet light (there is only one such minimal angle). Record all intermediate measurements. Provide error estimates.

g. Using the angle φ from part (c), express the refraction index n of the sample in terms of either δ_0 or δ_{\min} . You may use the reversibility of light propagation and the fact that there is only one minimal angle δ_{\min} .

h. Find the refraction index n_s of the sample for violet light and its error estimate.

Part III Laser measurements

Remove the flashlight from the light-source stand, and replace it with the laser. You can use the white screen to view both transmission and reflection patterns, as illustrated in Figure 9. The laser has a limited battery life - do not keep it turned on longer than necessary. When aligning the components, it may help to rotate the laser around its axis.

WARNING: Do not look directly into the laser beam or its reflections! Do not look at the laser light through the sample - use the provided screen.

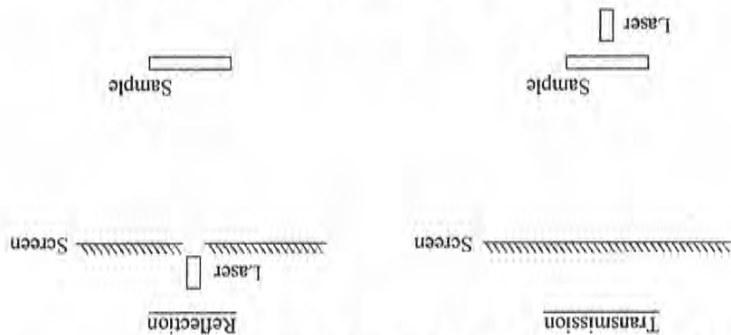


Figure 9 Suggested observation setups for laser light

Observe the alternating pattern of bright and dim fringes on the screen as you slightly rotate the sample. The dimming of some of the fringes is due to destructive interference between different regions of each "tooth" on the sample.

i. Use one of the setups in Figure 9, with the sample illuminated perpendicularly by the laser beam. Record the deflection angles θ of the observed fringes as a function of the fringe number m . Define the center of the pattern as $m=0$. Use the provided table on the answer form. Record all intermediate measurements. Provide error estimations.

j. Using a linear graph, find the spacing d between two adjacent "teeth" of the sample. Error bars on the graph are not required.

k. Using the formula you derived in part (g), find the refraction index n_s of the sample for the laser's red wavelength. Record any additional measurements. Provide error estimates. **WARNING: Do not look through the sample! Use the provided screen.**

全国中学生 物理 2012 竞赛专辑

★ 第28届全国中学生物理竞赛试题及参考解答（预赛、复赛、决赛）

★ 第42届国际物理奥林匹克竞赛试题



★ 第12届亚洲物理奥林匹克竞赛试题



ISBN 978-7-301-20555-6



9 787301 205556 >

定价：22.00元