

高等学校教材

大学物理演示实验

乔记平 主编 郝玉英 杨毅彪 李孟春 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

大学物理演示实验

Daxue Wuli Yanshi Shiyan

附录 (A1~A5) 附录五件图

乔记平 主编

郝玉英 杨毅彪 李孟春 副主编

王丽平 张叶 武媛 参编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是在太原理工大学多年来使用的《大学物理演示实验》讲义的基础上,经精心改编而成,编写中充分吸收了多年的教学实践经验和改革的成果。全书共六章,包括力学、热物理学、电磁学、振动和波动、光学、近代物理基础六个部分,每个部分按演示内容进行了类别细分,共计114个实验。书中所列实验力求与教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)相适应,强调学科知识体系的系统性和完整性。全书结构科学合理,层次分明,便于教学。

本书可作为普通高等学校大学物理演示实验和相关选修课程的教材或参考用书,亦可供社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理演示实验/乔记平主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2012. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 034010 - 5

I. ①大… II. ①乔… III. ①物理学 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①04 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 008382 号

策划编辑 马天魁

责任编辑 忻 蓓

封面设计 张志奇

版式设计 杜微言

插图绘制 尹 莉

责任校对 刘春萍

责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

印 刷 三河市杨庄长鸣印刷装订厂

开 本 787mm × 960mm 1/16

印 张 11.75

字 数 210 千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版 次 2012 年 2 月第 1 版

印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价 16.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 34010-00

前 言

教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)中强调:“应充分利用演示实验帮助学生观察物理现象,增加感性知识,提高学习兴趣。大学物理课程的主要内容都应有演示实验。”为了配合大学物理理论教学,充分发挥演示实验在大学物理教学中的重要作用,培养学生的实践能力和创新精神,并结合太原理工大学多年来的教学实践及改革成果与演示实验室的现有条件,我们编写了本教材。

本书所列实验力求紧密配合大学物理理论教学,分为力学、热物理学、电磁学、振动和波动、光学、近代物理基础六个部分,每个部分均按演示内容进行类别细分,力求层次分明、趣味性强、便于分类教学。全书共编入114个实验,涵盖了大学物理知识体系的主要内容。每个实验题目按照“仪器装置”、“物理原理”、“演示与分析”、“注意事项”、“探索思考”五个方面叙写,同一类别中的实验内容按照循序渐进的原则进行安排,其中“物理原理”写得比较具体,便于学生深度阅读;“演示与分析”只给出了关键的操作步骤,给学生留有自主探索的空间;“探索思考”中给出的思考题,可引导和启发学生对实验作进一步的拓展。

参加本书编写的人员均为太原理工大学教师,分工如下:第1章、第4章由王丽平编写;第2章、第5章由乔记平编写;第3章由张叶编写;第6章由武媛编写。郝玉英负责全书结构设计 with 编写风格的统一;杨毅彪、李孟春负责全书内容的审定工作;郭竹远在本书涉及的仪器方面提供了全面的技术支持。本书的编写工作得到了太原理工大学教务处和物理与光电工程学院领导和多位教师的热情支持和帮助,在此对他们表示由衷的感谢。最后还要感谢天津启星动力科技有限公司常金星总经理在热机仪器方面给予的特别帮助。

由于编者水平所限,书中难免存在错漏与欠妥之处,恳请专家、同仁与读者批评指正。

编 者

2011年8月

目 录

第一章 力学	(1)
1.1 机械能守恒定律	(1)
实验 A1 麦克斯韦滚摆	(1)
实验 A2 离心轨道	(2)
1.2 动量守恒、碰撞	(3)
实验 A3 弹性碰撞演示	(3)
1.3 惯性离心力	(4)
实验 A4 离心力演示	(4)
实验 A5 转动液体内部压强演示	(6)
1.4 质心运动	(7)
实验 A6 锥体上滚	(7)
1.5 转动定律	(9)
实验 A7 转动定律演示	(9)
1.6 角动量及角动量守恒定律	(10)
实验 A8 双球式角动量守恒仪	(10)
实验 A9 茹可夫斯基凳	(12)
实验 A10 角动量演示仪	(13)
1.7 刚体的进动、章动	(15)
实验 A11 常平架回转仪	(15)
实验 A12 杠杆式回转仪	(17)
1.8 液体表面张力	(19)
实验 A13 液体表面张力演示	(19)
1.9 伯努利方程	(21)
实验 A14 飞机的升力	(21)
实验 A15 伯努利悬浮器	(23)
第二章 热物理学	(25)
2.1 气体压强的统计意义	(25)

实验 B1 气体压强的微观解释	(25)
2.2 分子运动统计规律	(27)
实验 B2 伽尔顿板	(27)
实验 B3 麦克斯韦速率分布定律演示	(29)
实验 B4 玻耳兹曼能量分布律演示	(31)
2.3 热力学定律	(33)
实验 B5 蒸汽机模型	(33)
实验 B6 热力学第二定律演示	(34)
2.4 其他热机	(36)
实验 B7 低温差热气机	(36)
实验 B8 能量可逆转换演示	(38)
2.5 热电转换	(40)
实验 B9 热效率演示	(40)
实验 B10 热电风车	(42)
第三章 电磁学	(45)
3.1 静电感应	(45)
实验 C1 静电荷在导体表面的分布	(45)
实验 C2 空腔导体带电演示	(46)
实验 C3 静电跳球	(47)
实验 C4 静电摆球	(48)
实验 C5 静电除尘	(49)
实验 C6 静电屏蔽	(50)
实验 C7 静电喷泉	(51)
3.2 尖端放电	(52)
实验 C8 避雷针	(52)
实验 C9 电风吹烛焰	(54)
实验 C10 电风转筒	(55)
实验 C11 高压点火演示	(56)
实验 C12 范德格拉夫起电机	(57)
3.3 电势与电势差	(59)
实验 C13 手掌蓄电池	(59)
实验 C14 高压带电作业演示	(60)
实验 C15 雅各布天梯	(62)

实验 C16 等离子体球	(63)
3.4 电介质	(64)
实验 C17 电介质极化	(64)
实验 C18 带电体相互作用	(65)
实验 C19 平行板电容器演示仪	(67)
实验 C20 正压电效应	(69)
实验 C21 逆压电效应	(70)
实验 C22 压电效应	(71)
3.5 磁场分布	(72)
实验 C23 电流磁场线	(72)
实验 C24 亥姆霍兹线圈演示仪	(73)
3.6 磁场力	(75)
实验 C25 安培力演示	(75)
实验 C26 通电导体在磁场中的运动	(76)
实验 C27 载流平行直导线间的相互作用	(77)
实验 C28 磁聚焦演示仪	(78)
3.7 电子在电磁场中的运动	(79)
实验 C29 洛伦兹力演示仪	(79)
实验 C30 阴极射线管演示仪	(81)
实验 C31 阴极射线管演示机械效应	(82)
实验 C32 阴极射线管演示洛伦兹力	(83)
3.8 铁磁质	(84)
实验 C33 铁磁材料的磁滞回线	(84)
实验 C34 热磁轮演示仪	(86)
3.9 电磁感应	(87)
实验 C35 电磁感应现象	(87)
实验 C36 楞次定律(I)	(89)
实验 C37 楞次定律(II)	(90)
实验 C38 手摇发电机	(91)
实验 C39 互感现象	(91)
3.10 涡电流	(93)
实验 C40 涡电流演示仪	(93)
实验 C41 对比式涡电流管	(94)
实验 C42 阻尼摆与非阻尼摆	(95)

实验 C43 电磁驱动	(96)
3.11 电磁波	(97)
实验 C44 电磁波的发射与接收	(97)
第四章 振动和波动	(101)
4.1 简谐振动	(101)
实验 D1 旋转矢量演示仪	(101)
4.2 受迫振动、共振	(103)
实验 D2 单摆演示受迫振动与共振	(103)
实验 D3 共振演示	(104)
4.3 振动的合成	(105)
实验 D4 简谐振动合成仪	(105)
实验 D5 音叉演示仪	(108)
4.4 波的产生及传播	(109)
实验 D6 波动演示	(109)
实验 D7 纵波演示仪	(111)
4.5 波的干涉、衍射、驻波	(112)
实验 D8 驻波演示	(112)
实验 D9 水波演示	(114)
实验 D10 昆特管	(116)
实验 D11 鱼洗	(118)
4.6 多普勒效应	(119)
实验 D12 多普勒效应演示	(119)
4.7 超声波	(121)
实验 D13 超声雾化	(121)
第五章 光学	(123)
5.1 平面镜成像	(123)
实验 E1 窥视无穷	(123)
实验 E2 反射像簇的动态变幻	(124)
实验 E3 翻转镜像	(125)
5.2 凹面镜反射成像	(126)
实验 E4 单凹面镜反射成像	(126)
实验 E5 双凹面镜反射成像	(127)

5.3 其他几何光学	(128)
实验 E6 海市蜃楼	(128)
实验 E7 视觉暂留演示	(130)
5.4 色度学实验	(132)
实验 E8 光学转盘演示	(132)
5.5 光的干涉	(133)
实验 E9 双缝干涉	(133)
5.6 光的衍射	(135)
实验 E10 单缝衍射	(135)
实验 E11 圆孔衍射	(138)
实验 E12 多缝衍射	(140)
实验 E13 一维衍射光栅	(141)
实验 E14 二维正交光栅衍射	(143)
5.7 全息光学	(144)
实验 E15 白光全息	(144)
实验 E16 激光全息	(146)
5.8 光的偏振	(148)
实验 E17 偏振光演示	(148)
实验 E18 反射光的偏振	(150)
实验 E19 折射光的偏振	(151)
实验 E20 光的双折射现象	(153)
5.9 光学综合演示	(154)
实验 E21 激光光学演示	(154)
第六章 近代物理基础	(157)
6.1 量子物理	(157)
实验 F1 热辐射	(157)
实验 F2 光电效应	(159)
实验 F3 链式核反应模拟实验	(161)
实验 F4 电子衍射	(163)
实验 F5 扫描隧穿显微镜	(164)
6.2 光学通信	(166)
实验 F6 光纤通讯	(166)
实验 F7 红外线通讯演示	(167)

6.3 混沌	(169)
实验 F8 混沌摆	(169)
实验 F9 非线性电路混沌实验	(170)
6.4 其他	(172)
实验 F10 太阳能的应用——神舟号飞船仿真模型	(172)
实验 F11 超导磁悬浮演示	(173)
参考文献	(175)

第一章 力学

1.1 机械能守恒定律

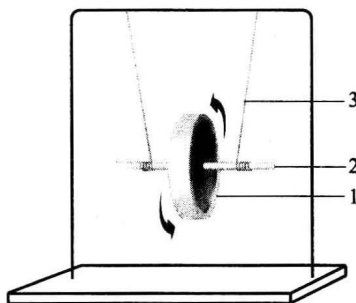
实验 A1 麦克斯韦滚摆

机械能守恒定律是一条重要的守恒律。该定律指出:只有保守内力对物体做功时,物体的动能和势能发生相互转化,但机械能的总量保持不变。

麦克斯韦滚摆实验通过滚摆下落和上升过程中势能和动能的转化,以及运动过程中机械能保持不变,演示机械能守恒定律。

[仪器装置]

仪器装置如图 A1.1 所示,由悬线、滚摆、滚摆轴等构成。



1. 滚摆; 2. 滚摆轴; 3. 悬线

图 A1.1 滚摆示意图

[物理原理]

重力作用下滚摆的运动是质心的平动与绕过质心转轴转动的叠加。因此,滚摆运动过程中,存在重力势能与质心平动动能及绕质心转轴转动动能之间的转化。

当捻动滚摆轴,使滚摆上升到较高位置时,滚摆储蓄一定势能。当滚摆由静止释放,开始旋转下降时,滚摆势能随之逐渐减小,而质心平动动能与绕质心转动动能逐渐增加。当悬线完全松开,滚摆下降到最低点时,下降平动速度及转动速度均达到最大值,动能最大。由于滚摆仍继续旋转,它又开始反向缠绕悬线而上升。在滚摆上升的过程中动能逐渐减小,势能逐渐增加,上升到最高点时,动能为零,势能最大。如果没有任何阻力,滚摆每次上升的高度都相同,表明滚摆

的势能和动能在相互转化过程中,机械能的总量保持不变。

[演示与分析]

1. 准备工作:调节悬线,保证滚摆轴水平。
2. 滚摆上升:捻动滚摆轴,并使悬线在轴上均匀缠绕,使之上升到一定高度。
3. 在上述位置放手,使滚摆平稳下落。仔细观察滚摆运动,分析运动过程中能量转化、滚摆角速度及质心平动速度的变化。
4. 观察运动过程中,滚摆上升最高位置的变化,分析原因。

[注意事项]

释放滚摆时,使之平稳下落,切勿左右摇摆或扭转。

[探索思考]

1. 如何改进滚摆形状以减小空气阻力,从而减少能量损失?
2. 若悬线用橡皮筋制作,会观察到什么现象?
3. 试分析滚摆上下平动周期与滚摆质量的关系。

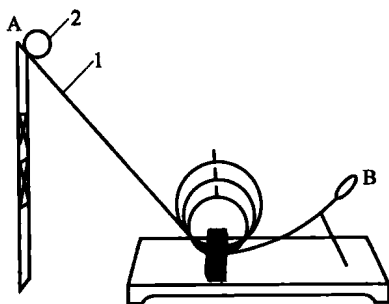
实验 A2 离心轨道

向心力是根据力的作用效果命名的,指物体沿着圆周或者曲线轨道运动时受到的指向圆心或曲率中心的合外力。向心力可以由弹力、重力、摩擦力中的任何一种或者它们的合力提供。

本实验演示物体作圆周运动时受到的向心力以及运动过程中机械能守恒。

[仪器装置]

如图 A2.1 所示,仪器装置由光滑轨道、钢球组成。



1. 光滑轨道; 2. 钢球

图 A2.1 离心轨道演示仪

[物理原理]

向心力的作用是迫使物体速度方向不断改变,其方向总是垂直于物体的速度方向并指向运动圆周的圆心。

本实验中,由钢球、轨道及地球组成的系统,在钢球沿光滑轨道运动的过程中,只有保守内力做功,故机械能守恒。钢球从导轨高处滚下的过程中,势能转化为动能。由于导轨中有一部分环形轨道,因此,只有当小钢球具有一定的速度,它才能够克服向心力,顺利沿环形轨道运动而不跌落。

[演示与分析]

1. 令钢球从图 A2.1 上 A 处沿导轨滚下,观察它能否到达 B 处。
2. 令钢球从 B 处沿导轨滚下,观察它能否到达 A 处。分析其从轨道跌落的原因。
3. 调整钢球的初始位置,使其恰好通过轨道而不跌落,计算该位置的高度。观察钢球分别放置于比该临界值高或低的位置时,其运动情况并分析原因。

[注意事项]

钢球如果脱离轨道,需及时找回。

[探索思考]

1. 分析钢球运动过程中向心力由哪些力提供。
2. A、B 两处高度相同时,钢球能否从一处到达另一处? 分析原因。
3. 观察过山车轨道特点,分析原因。

1.2 动量守恒、碰撞

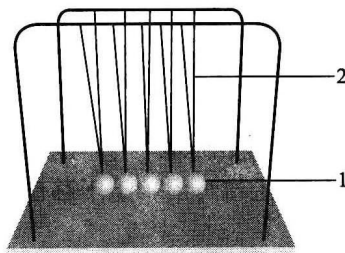
实验 A3 弹性碰撞演示

动量守恒定律是自然界中最重要最普遍的守恒定律之一。该定律指出:当系统所受合外力为零时,系统动量守恒。

本实验通过等质量小球的碰撞,演示弹性碰撞过程中动量守恒、能量守恒。

[仪器装置]

仪器装置如图 A3.1 所示,由钢球、拉线等组成。



1. 钢球; 2. 拉线

图 A3.1 弹性碰撞演示仪

[物理原理]

由动量和能量守恒定律可知,两个等质量的钢球弹性正碰时,它们将交换速度。

本实验中实验者可自由组合联球个数,进行不同质量的交换速度碰撞实验。

[演示与分析]

1. 准备工作:调节拉线长度,使各球球心处在同一水平线上。
2. 将位于一侧的小球拉离其平衡位置,然后释放,使它与余球碰撞,观察其他球跳起的情况。
3. 仿照上述过程,将位于装置一侧的两个、三个或四个小球同时拉起,使它与余球碰撞,观察碰撞过程并分析原因。

[注意事项]

1. 操作前应保证各球心处于同一水平线上,以免因非正碰影响碰撞效果。
2. 拉线易断,勿用力拉扯。

[探索思考]

1. 试用动量、能量守恒定律解释实验现象。
2. 如将实验中等质量钢球换成半径递增、质量递增的球,实验现象会有何不同?

1.3 惯性离心力

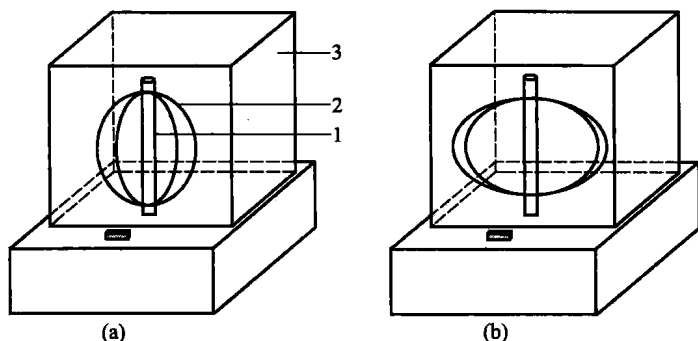
实验 A4 离心力演示

作圆周运动的物体,在惯性参考系中分析,物体受到向心力的作用;在转动参考系,即非惯性系中分析,随其作圆周运动的物体是静止的。仿照惯性系中的习惯性思维,一定存在一种力与向心力平衡,从而使物体“静止”,此即惯性离心力。

本实验演示惯性离心力引起的一种效应。

[仪器装置]

仪器装置如图 A4.1 所示,由转轴、两个弹性金属片圆环、玻璃罩组成。其中圆环下端固定在电机转轴上,上端可沿轴上下移动。



1. 转轴； 2. 弹性金属片圆环； 3. 玻璃罩

图 A4.1 离心力演示仪

〔物理原理〕

离心力是与向心力平衡的假想力,因此与向心力大小相等,方向相反,即:

$$F = -m \frac{v^2}{r}$$
 因此,作圆周运动的物体,在离心力作用下,有远离转动中心的趋势。并且速度越大,离心力越大。

本实验中作圆周运动的物体是弹性金属片圆环,由于其弹性大,易变形,在离心力作用下,会发生明显形变。如图 A4.1 所示,图(a)为静止时金属片圆环形状;图(b)为转动过程中金属片形状。可以看出,运动过程中,金属片圆环发生了明显的形变,并且赤道处形变最大,向外鼓出;两极无形变,金属片形状由圆形变为椭圆形。此现象原因在于:转速一定时,赤道处速度最大,惯性离心力最大,因而形变最大;两极速度为零,无惯性离心力,没有发生形变。

〔演示与分析〕

1. 准备工作:用玻璃罩将圆环罩住。
2. 接通电源,按下启动开关使圆环随电机旋转。观察转动加速以及转速稳定过程中,金属片形状的变化,并分析原因。
3. 关闭开关,观察转速变慢直至停止过程中,金属片形状的变化。

〔注意事项〕

1. 圆环转动过程中,将玻璃罩盖好。
2. 不能长时间按住开关,以免圆环发生非弹性形变,不能恢复原状。

〔探索思考〕

1. 如何理解离心力为假想力?
2. 日常生活中有哪些装置运用了离心力技术? 你在生活中感受过离心力

吗？举例说明。

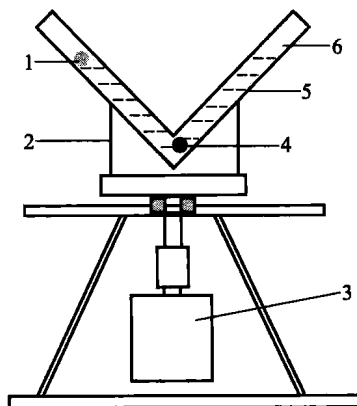
实验 A5 转动液体内部压强演示

物体转动时会受到惯性离心力作用,同样,转动的液体也会受到离心力作用。类似于地球引力,惯性离心力会产生压强。这种惯性离心力压强,也称作阿基米德惯性力压强。离心压强差形成离心浮力,又称为阿基米德浮力。离心浮力的方向与离心力的方向相反。

本实验演示离心力现象以及液体内部压强的分布。

[仪器装置]

如图 A5.1 所示,V 形管离心力演示仪主要由 V 形玻璃管、轻球、重球、转台等组成。



1. 轻球; 2. 转台; 3. 电机; 4. 重球; 5. 水; 6. V 形玻璃管

图 A5.1 V 形管离心力演示仪

[物理原理]

本实验利用密度分别大于和小于水的两个小球在旋转透明玻璃管中的上升和下降,演示转动系统中液体内部压强的变化及物体所受到的离心力。小球在转动的水中的下沉与上浮,取决于小球自身的密度。V 形管静止时,重球因密度大于水的密度沉入水底,轻球的密度小于水而浮于水面上。当 V 形管转动起来时,小球随液体转动过程中,受到重力、液体对它向上的浮力、管壁的压力以及由转动所引起的作用力(惯性离心力)等四个力的作用。小球沿管壁向上或向下运动,关键取决于由转动而引起的作用力,该力方向取决于小球密度 ρ 与玻璃管中液体密度 ρ_0 的大小:当 $\rho > \rho_0$,该力方向沿圆周运动半径向外远离转轴;当 $\rho < \rho_0$,其方向沿圆周运动半径向内,指向转轴。因此,在四个力作用下,重球沿

管壁向上运动,而轻球沿管壁向下运动。

同时,由于转动引起的作用力大小与球到转轴的距离及转动角速度有关,故可通过调节角速度大小演示封在 V 形玻璃管中球的运动情况,从而显示转动系统中液体内部压强的变化及所受到的离心力。

[演示与分析]

1. 准备工作:将 V 形玻璃管内灌入适量的水,将两小球放入管中,管两端用塞子塞紧。

2. 观察 V 形管静止时,两小球在水中的位置。

3. 接通电源,V 形管开始转动,观察转速由慢到快变化过程中,重球和轻球的运动情况,并分析两球运动情况不同的原因。

4. 当重球浮到水面上后,断开电源,观察转速减小过程中,重球和轻球的运动情况并分析原因。

[注意事项]

1. 实验进行中务必塞紧 V 形玻璃管两端的塞子,以免水或球从管中喷出,发生危险。

2. 转速不宜太大,以免损坏仪器或发生危险。

[探索思考]

1. 如果小球的密度与液体密度相等,则小球如何运动?

2. 利用此原理可以实现不同密度液体的分离吗?试分析原因。

1.4 质心运动

实验 A6 锥体上滚

能量最低原理是自然界的普遍规律。该原理指出:能量低的状态是稳定态,物体或系统的能量总是自然趋向最低状态。根据该原理,在重力场中,物体具有降低重心、从势能高的位置向势能低的位置运动的趋势,以趋于稳定。

本实验演示物体在重力场中,向重心降低的方向运动的现象。

[仪器装置]

如图 A6.1 所示,实验装置由 V 形双轨道、双圆锥体组成。