

21世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

总主编 周 进 沙振舜

物理 演示实验

编 著 江兴方 高惠滨 郭小建 吴志贤



南京大学出版社

21 世纪高等院校物理实验教学改革示范教材

物理演示实验

总主编 周 进 沙振舜
编 著 江兴方 高惠滨
郭小建 吴志贤



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理演示实验/江兴方,高惠滨,郭小建,吴志贤编著. —南京:南京大学出版社, 2011. 12
ISBN 978-7-305-09267-1

I. ①物… II. ①江…②高…③郭…④吴… III. ①物理学—实验 IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 248982 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健
丛 书 名 21 世纪高等院校物理实验教学改革示范教材
书 名 物理演示实验
编 著 江兴方 高惠滨 郭小建 吴志贤
责任编辑 王秉华 编辑热线 025-83685720
照 排 南京紫藤制版印务中心
印 刷 常州市武进第三印刷有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 12.75 字数 304 千
版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-305-09267-1
定 价 23.00 元

发行热线 025-83594756 83686452
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

编 委 会

顾 问 孙尔康

总主编 周 进 沙振舜

编 委 (按姓氏笔画为序)

于 瑶 江兴方 刘 平 朱 娴

沙振舜 吴志贤 陈秉岩 周 进

胡小鹏 郭小建 徐永祥 高惠滨

序

实验教学是学生培养中的一个非常重要的环节,对理工科学生来说更是不可缺少的,它不仅仅培养学生的基本科学实验技能和素养,更重要的是可以培养学生的科学思维和创新意识,提高学生的综合能力和创新能力。

物理学是一门以实验为基础的科学。物理实验是科学实验的先驱,体现了大多数科学实验的共性,在实验思想、实验方法以及实验手段等方面是其他学科实验的基础。物理实验内容覆盖面广,具有丰富的思想、方法和手段,同时能提供综合性很强的基本实验技能训练,是培养学生科学实验能力、提高科学素质的重要基础。它在培养学生严谨的治学态度、活跃的创新意识、理论联系实际和适应科技发展的综合应用能力等方面具有其他实践类课程不可替代的作用。

为了加强实验教学,2005年教育部开展了实验教学示范中心建设的质量工程,相应地,各省也开始了一批省级实验示范中心建设。对高校的物理实验,教育部2010年提出了理工科大学物理实验课程教学的基本要求。为了加强物理实验室建设和提高物理实验教学水平,2010年在江苏省高等院校物理实验教学联席会议上,提出编写出版一套大学物理实验系列教材,以满足各不同类型的高校物理实验教学的需要。在南京大学出版社的大力支持下,经过充分酝酿和讨论,成立了江苏省21世纪高等院校物理实验教学改革系列教材编委会,丛书总主编由南京大学国家级物理实验教学示范中心主任周进教授和沙振舜教授担任。该丛书拟定的物理实验分册主要有:《大学物理实验(理科)》《大学物理实验(工科)》《普通物理实验》《物理演示实验》《近代物理实验》等。

该套系列教材的特点是:

1. 在参编学校多年教学实践的基础上完成,教材适用性强,同时也充分展示了近年来物理实验教学改革成果。
2. 采用新的实验模式,教学体系新,满足不同层次不同专业的教学需要。
3. 削减或改编了许多验证性实验,增加了综合性、设计研究性及开放性实验。
4. 重视科学研究的新成果,体现先进性。

该丛书的编写和出版是江苏省物理实验示范中心建设的一项成果,也是我们工作的一次尝试,在教材中可能存在一些错误与不妥之处,敬请广大读者和同行专家提出意见和批评。

编委会

2011年11月

编者的话

纵观物理演示实验,经历了三个阶段。

第一阶段,配合课堂教学,采用演示实验验证物理学原理与定律,其特征是分散性、多样性。

第二阶段,随着物理演示实验项目的增多,逐渐形成一系列分门别类演示实验,其特征是系统性、综合性。

第三阶段,伴随着高等教育从精英教育向大众化教育转变,特别是物质财富高度丰富的今天,个性化教育与素质教育成为高等学校教育中重要的组成部分,形成了演示物理,其特征是趣味性和创造性。

物理演示实验包括上篇趣味物理演示实验和下篇创新物理演示实验。上篇每个实验包括实验目的、实验器材、实验方法、实验现象、原理分析、注意事项、讨论思考、实验联想和参考文献等栏目,突出物理演示实验的趣味性,由南京大学高惠滨老师、吴志贤老师、金陵科技学院郭小建老师提供相应的实验内容与图文资料,结合清华大学、北京航空航天大学、济南大学、常州大学等高等院校物理演示实验图、文、像等资源,进行了精心筛选,并以阮图南、余守宪、梁昆森等编物理学词典知识点顺序,编写而成;下篇每个实验包括实验目的、实验设计、实验制作、实验装置、创新特征、实验联想、讨论思考、参考文献等栏目,突出物理演示实验的创新性,以专利为纽带,着眼于开发同学们的创新思维,激发同学们的创新热情,提供已开发的和即将开发的演示实验项目,启迪同学们动脑动手,制作创新作品。

本教材适合于大中专院校学生使用,也可作为中学生创新提高班的教材。

在编写过程中,本书得到了南京大学沙振舜教授、周进教授和孙尔康教授的悉心指导和大力支持,感谢华东师范大学宣桂鑫教授的长期指导,并在此特别感谢南京大学出版社为本书提供了出版的机会。在完稿之际,作者心情十分复杂,尽管凝聚了无数个日日夜夜辛勤耕耘,又恐编著者知识面窄,挂一漏万。希望读者多提宝贵意见,在日后不断完善。

江兴方

2011年11月

目 录

上篇 趣味物理演示实验

实验 1.1 “啄木鸟”	1
【实验联想】动物下坡	2
实验 1.2 双锥体“上滚”	3
【实验联想】“怪坡现象”	4
实验 1.3 车载摆	5
【实验联想】相对运动	6
实验 1.4 双球摆	7
【实验联想】(一) 等质量五连摆	8
(二) 不等质量三连摆	8
实验 1.5 “火箭”喷射	9
【实验联想】嫦娥计划	10
实验 1.6 “直升机”	12
【实验联想】直升机螺旋桨的设置	13
实验 1.7 茹可夫斯基转椅	14
【实验联想】(一) 角动量守恒演示仪	15
(二) 角动量合成仪	16
实验 1.8 陀螺仪	17
【实验联想】(一) 实用陀螺仪	18
(二) 回转仪	18
(三) 气垫陀螺	19
(四) 翻转陀螺	19
实验 1.9 “潜水艇”	20
【实验联想】(一) 浮力的应用	21
(二) 潜水艇的由来	21
实验 1.10 伯努利实验	22
【实验联想】(一) 日常生活中的伯努利效应	23

(二) 伯努利悬浮球	23
(三) 流速与压强	23
实验 1.11 水波演示	25
【实验联想】纵横波联合演示仪	27
实验 1.12 铝棒摩擦起声	28
【实验联想】(一) 弦驻波	29
(二) 环驻波	29
实验 1.13 声聚焦	30
【实验联想】声聚焦的应用	31
实验 1.14 超声雾化	32
【实验联想】超声波的应用	33
实验 1.15 伽尔顿板	34
【实验联想】双向翻转伽尔顿板	35
实验 1.16 气垫盘与“气垫船”	36
【实验联想】气垫船的由来	37
实验 1.17 变音钟	39
【实验联想】(一) 西汉古铜镜	40
(二) 鱼洗	40
实验 1.18 热力学第二定律-克劳修斯表述	41
【实验联想】热力学第二定律-开尔文表述	42
实验 1.19 饮水鸟	44
【实验联想】毛细现象	45
实验 1.20 烟圈炮	46
【实验联想】奇特的“烟圈大炮”	47
实验 1.21 “龙卷风”	48
【实验联想】龙卷风及其危害	49
实验 1.22 风洞	51
【实验联想】飞机升力	52
实验 1.23 滴水自激起电	53
【实验联想】另一种滴水起电方法	54
实验 1.24 静电避雷针	55
【实验联想】(一) 静电风实验	56
(二) 静电除尘	57
(三) 静电跳球	57
(四) 静电植绒	58

实验 1.25 静电屏蔽	59
【实验联想】(一) 高压线与带电操作	60
(二) 铝制金属网笼演示静电屏蔽	61
实验 1.26 电偶极子	62
【实验联想】电介质及其电偶极矩	63
实验 1.27 压电效应与逆压电效应	64
【实验联想】打火机中的压电效应	65
实验 1.28 姜太公“钓鱼”	66
【实验联想】磁力的应用	66
实验 1.29 磁悬浮陀螺	67
【实验联想】地球仪的常温磁悬浮	68
实验 1.30 超导“磁悬浮列车”	69
【实验联想】(一) 磁悬浮列车	71
(二) 磁悬浮实验器	71
实验 1.31 磁聚焦	72
【实验联想】(一) 阴极射线与洛仑兹力	73
(二) 溶液中的洛仑兹力	74
(三) 纳米磁液	74
实验 1.32 法拉第-楞次定律	75
【实验联想】(一) 楞次定律实验仪	76
(二) 用铝管演示法拉第-楞次定律	76
实验 1.33 电磁秋千	77
【实验联想】超导磁体	78
实验 1.34 电磁弹性振子	79
【实验联想】另一种电磁弹性振子	80
实验 1.35 电磁铁	81
【实验联想】电磁铁的应用	82
实验 1.36 “电磁炮”	83
【实验联想】实用电磁炮	84
实验 1.37 动磁生电	85
【实验联想】电动机与发电机	86
实验 1.38 通电、断电自感	87
【实验联想】LR 电路	88
实验 1.39 互感	89
【实验联想】(一) 互感的应用——光通讯演示	90

(二) 互感概念演示仪	91
实验 1.40 涡流热效应	92
【实验联想】(一) 涡流热效应式热水器	93
(二) 涡流热效应演示仪	93
实验 1.41 热电转换	94
【实验联想】碱金属热电转换器	95
实验 1.42 温差电磁铁	96
【实验联想】(一) 热效率演示仪	97
(二) 手触蓄电池	98
实验 1.43 热磁轮	99
【实验联想】居里点测试仪实验	100
实验 1.44 能量转换轮	101
【实验联想】仿古战车	102
实验 1.45 三基色	103
【实验联想】三原色合成彩色	103
实验 1.46 望不到头的长廊	105
【实验联想】窥视无穷	106
实验 1.47 多次反射成像	107
【实验联想】(一) 变角镜	108
(二) 平面镜	108
实验 1.48 模拟彩虹	109
【实验联想】(一) 霓和虹	110
(二) 模拟“佛光”	111
实验 1.49 你中有我,我中有你	112
【实验联想】半反膜法你中有我,我中有你	113
实验 1.50 牛顿七色盘	114
【实验联想】(一) 牛顿七色盘的色合成与光的混合	115
(二) 互补色立体图	115
实验 1.51 魔箱	116
【实验联想】水果店里的镜子	117
实验 1.52 导光水柱	118
【实验联想】水流导光——多彩喷泉演示仪的设计	119
实验 1.53 海市蜃楼	120
【实验联想】海市蜃楼奇观	122
实验 1.54 笼中鸟	123

【实验联想】无源之水	124
实验 1.55 看得见的声波	125
【实验联想】视觉暂留实验	126
实验 1.56 人造火焰	127
【实验联想】(一) 一种电子火焰	128
(二) 电子香烟	128
实验 1.57 奇妙的肥皂泡	129
【实验联想】(一) 肥皂液	130
(二) 帘式皂膜	131
实验 1.58 透射光栅立体图	132
【实验联想】(一) 全息防伪	133
(二) 波粒二象性实验	133
实验 1.59 激光琴	134
【实验联想】激光演示李萨如图形	135
实验 1.60 太阳灶	136
【实验联想】太阳能直接利用	137
实验 1.61 太阳能发电	138
【实验联想】(一) 光伏产业	139
(二) 太阳能综合利用	140

下篇 创新物理演示实验

实验 2.1 能量自动补偿型单摆	141
【实验联想】混沌摆、混沌碗实验	143
实验 2.2 神秘的普氏摆	145
【实验联想】“静止”的转动轮子	146
实验 2.3 滚动的方轮	148
【实验联想】(一) 翻滚的药丸	149
(二) 悬链线方程	150
实验 2.4 哪一个摆动快	151
【实验联想】(一) 斜面滚动实验	153
(二) 胶卷盒与咖啡实验	153
实验 2.5 最速下降曲线实验	155
【实验联想】有趣的叠木块游戏	157
实验 2.6 不下落的乒乓球	160

【实验联想】气流中不下落的乒乓球	161
实验 2.7 科里奥利力	162
【实验联想】(一) 傅科摆	164
(二) 潮汐	165
实验 2.8 振动测试显示仪	168
【实验联想】候风地动仪	169
实验 2.9 旋转矢量演示仪	171
【实验联想】简谐振动合成演示仪	172
实验 2.10 记忆合金	174
【实验联想】记忆合金水车	176
实验 2.11 雅各布天梯	177
【实验联想】(一) 模拟闪电	178
(二) 高压电离模拟霓虹灯	179
实验 2.12 神奇的辉光球	180
【实验联想】(一) 辉光盘	181
(二) 庆典球	181
实验 2.13 显色偏振	182
【实验联想】(一) 光弹效应	183
(二) 会变色的蝴蝶	185
实验 2.14 α 粒子散射模拟实验	186
【实验联想】静电场模拟实验	188

上篇 趣味物理演示实验

实验 1.1 “啄木鸟”^{〔1〕}

【实验目的】

- (1) 了解啄木鸟向下运动的特点,体会实验的趣味性。
- (2) 探究啄木鸟向下运动的受力情况与能量转化关系。

【实验器材】

1 个啄木鸟实验演示装置由 1 个弹簧、1 根竖直放置两端固定的钢丝、1 段空管和 1 个啄木鸟模型组成,如图 1-1 所示。弹簧的一端连接着套在钢丝上的空管,一端连接着啄木鸟模型,空管的内直径略大于钢丝的直径。

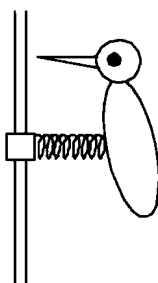


图 1-1 实验装置图

【实验方法】

先将“啄木鸟”头部提到上面,并将头部往外面拉一下,观察“啄木鸟”的运动情况。

【实验现象】

“啄木鸟”的嘴一边啄钢丝,一边向下运动^{〔2〕}。

【原理分析】

由于重力的作用,实验中的啄木鸟模型对空管支点产生了向下的力矩,使空管左上侧和右下侧对钢丝的压力较大,在静摩擦力的作用下,啄木鸟模型不会向下运动。当“啄木鸟”被提上去后,又向外拉一下时,弹簧拉长,弹簧中贮存着弹性势能,弹簧力求恢复形变,使“啄木鸟”的嘴啄一下钢丝,这时空管正好处于竖直状态,与钢丝间的摩擦力很小,由于重力的作用,“啄木鸟”向下运动一段距离;接着弹簧又伸长,摩擦力又使向下运动的“啄木鸟”停止运动。如此周而复始,弹簧不停地伸长缩短,“啄木鸟”不停地摇摇摆摆,而且边摇摆边向下运动,非常有趣。

〔1〕 玩具“啄木鸟”. http://phys.cersp.com/SYTJ/sGz/KXTJ/200610/1662_2.html

〔2〕 啄木鸟知识点网页. <http://baike.baidu.com/view/20018.htm>

【注意事项】

在实验过程中,要小心地拉动“啄木鸟”,以免损坏演示装置。

【讨论思考】

- (1) “啄木鸟”从上而下运动的情况是怎样的,如何描述?
- (2) 在“啄木鸟”运动过程中,“啄木鸟”受到了哪些力的作用?
- (3) 在“啄木鸟”的这种奇特运动过程中,能量是如何转化的?

【实验联想】

动物下坡

实验器材由 1 个用木板做的斜面和 1 个袋鼠小动物模型组成^[1],如图 1-2 所示。把斜面放好,调节斜面的斜角,把袋鼠小动物模型放在斜面上,自由跳跃着下坡。这是因为小动物原来在高处时势能大,到较低处时势能减小了,小动物在斜面摇摆并且重心偏前时后面的一个脚会绕轴转动而与前面的脚靠在一起;而重心又偏后一点时,前脚就往前一步,而且重心会下降一点,小动物就往前摆一下,就这样往复摇摆着向下运动。它是靠重力势能的减少,而获得了向下运动的动能。小动物的摇摆、重心在两个脚之间变化,像兔子一样跳跃式下坡。



图 1-2 袋鼠实验模型

[1] 袋鼠模型. <http://pec.swjtu.edu.cn/>

实验 1.2 双锥体“上滚”

【实验目的】

(1) 通过观察与思考双锥体沿斜面轨道上滚的现象,加深了解物体在重力场中总是以降低重心来趋于稳定这一规律。

(2) 说明物体具有从势能高的位置向势能低的位置运动的趋势,同时说明物体势能和动能之间在相互转换。

【实验器材】

双锥体“上滚”实验演示装置由 1 套双锥体“上滚”实验装置和 1 个圆柱体组成,如图 1-3 所示。实验装置包括双锥体和支架,其中双锥体是将两个锥体底部重合,锥体顶部各装配着直杆用于支撑在支架上。支架由两个“π”形不锈钢钢管组成,且较低的一端靠得紧,较高的一端分得开。



图 1-3 实验装置图

【实验方法】

(1) 将 1 个圆柱体置于支架导轨的高端,放手后自动滚落。

(2) 再将双锥体置于支架导轨的高端,双锥体静止不动;将双锥体置于支架导轨的低端,松手后观察实验现象。

【实验现象】

双锥体自动向支架较高端的方向滚动。

【原理分析】

物体由于重力的作用,总是从高处向低处运动。实验中的双锥体怎么从低处向高处滚动呢? 本实验巧妙地利用双锥体与轨道的形状,造成了双锥体从低处向高处自由运动的错觉。图 1-4 说明了双锥体在从支架的低处向高处运动过程中,重心微微地下降了一些,即

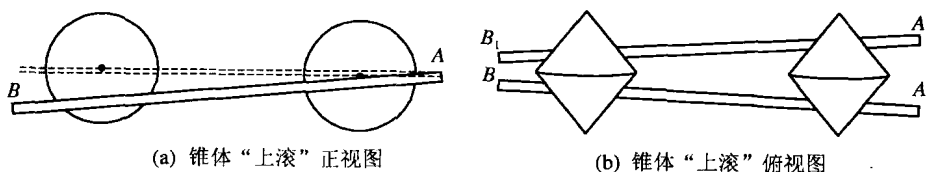


图 1-4 实验原理图

双锥体在运动过程中其势能还是下降的^{〔1〕},具体分析如下。

如图 1-4(a)所示,双锥体从 B 到 A ,重心实际上是下降的。如图 1-4(b)所示, AA_1 端较高,但 AA_1 处两横杆分得开,较高的支撑有使双锥体质心向上移的趋势,而支撑点较宽又使双锥体因其中间粗两端细而使质心有向下移动的趋势,两种趋势互相抵消可使锥体在任何位置都处于平衡状态。如图 1-5 所示。 B 与 C 处于同一水平面上, A 与 C 处于同一竖直面内,双锥体从 B 端向 A 端运动,实际上重心下降了 AC 距离,只要 A 端比 B 端高出的距离小于 AC 长度,双锥体必定在重力作用下,从支架的低处自动向高处运动。

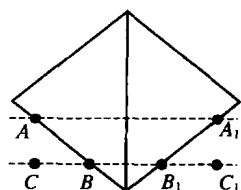


图 1-5 双锥体“上滚”侧视图

【注意事项】

- (1) 不要让双锥体滑离轨道。
- (2) 双锥体启动时位置要正,防止它在滚动时摔下而损坏。

【讨论思考】

- (1) 试导出实现密度均匀的锥体上滚时,锥体顶角、导轨夹角、导轨宽窄端的高度差三者之间满足的关系。
- (2) 将锥体正确放置于轨道上时(即锥体骑在轨道上且使其轴线垂直于两轨道的角平分线的状态),求锥体质心受到的沿轨道平面斜向上的力的大小。
- (3) 若将锥体放置于轨道上略有倾斜(其轴线不垂直于两轨道角平分线)时,研究锥体的运动,并通过实验检验所得的结论。

【实验联想】

“怪坡现象”

文献^{〔2〕}报道了沈阳东陵区境内新发现一处“怪坡”。记者将水倒在地上时,发现这些水竟然真的逆坡向上流去。物理实验表明:参照物能引起视觉差。一位专家做了这样一个实验:他把记者带到一张桌子前,问记者桌子是平的还是斜的?桌子被放置在一个台面上,看上去的确是斜的。但专家却解释说:“单看桌面好像是斜的,那是因为它放在一个斜的台子上,实际上,桌子是平的。”顺着专家的指点,记者这才注意到原来自己是被桌子底下的台面“捉弄”了。

〔1〕 双锥体上滚知识点. <http://zhidao.baidu.com/question/15321780.html>

〔2〕 参照物引起视觉差. <http://zhidao.baidu.com/question/627870.html>

实验 1.3 车载摆

【实验目的】

- (1) 加深理解动量守恒。
- (2) 演示物理摆与小车系统在水平方向的动量守恒。

【实验器材】

1 套物理摆与小车系统,如图 1-6 所示。摆球通过一细杆和横梁悬于支架上,可以自由摆动,支架固定在平板小车上,平板小车与桌面通过底部的 4 个轮子相接触,平板小车可以在桌面上自由地滚动。

【实验方法】

将物理摆与平板小车系统放置于水平桌面上,左手扶小车右手托起物理摆,使其与竖直方向有一定角度(比如 90°),两手同时放开,观察物理摆与小车系统的运动。

【实验现象】

在物理摆摆动过程中,小车沿相反方向运动。保持重心的水平位置不变,往复数次。

【原理分析】

质点或者质点系在合外力为零的条件下,动量守恒;同时质点或者质点系在某一方向受到的合外力为零时,则在该方向上的动量守恒。实验中,物理摆向左摆动时,平板小车将向右运动,确保系统质心在水平位置不变。当物理摆摆向右边时,平板小车又向左运动,保持系统质心位置不变。

【注意事项】

不要使平板小车系统太靠近桌面边沿,以免仪器跌落损坏。

【讨论思考】

- (1) 令物理摆小车系统初始处在物理摆成水平状态,从静止开始运动,注意观察其质心(或车身)的位置。发现其质心位置会向摆锤指向的反方向运动,请对此现象予以解释。
- (2) 本演示实验是否可以将小船代替小车? 为什么?

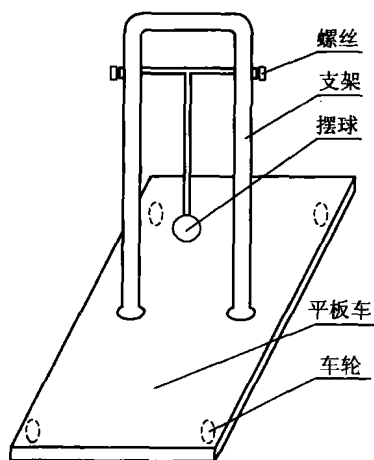


图 1-6 物理摆与小车系统