

普通高等院校“十二五”规划教材

University
Physics
Demonstration
Experiment

大学物理 演示实验教程

何兴 唐贵平 邓敏 廖家欣 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校“十二五”规划教材

大学物理演示实验教程

何兴 唐贵平 邓敏 廖家欣 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据长沙理工大学物理实验中心已开出的物理演示实验和指导教师近年教学经验而编写。内容包括力热学、电磁学和光学等几部分,总计 116 个实验项目。每个实验分别介绍了实验目的、实验装置、实验原理、演示方法与现象和思考题等。在实验项目选取上除了配合理解物理知识的传统项目外,还引入了一些能体现物理原理在古代科技和现代社会生活的实验项目,以增加实验的科普性和趣味性。本书可供普通高等学校作为开放教学中的大学物理演示实验教材使用或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理演示实验教程/何兴等编著. —北京:国防工业出版社, 2013. 2
普通高等院校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-08538-9

I. ①大... II. ①何... 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(2013)第 007435 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 11½ 字数 270 千字

2013 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5500 册 定价 27.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

物理演示实验传统上是指在物理理论课中,教师根据讲授内容引入的一种教学方法。教师通过主题突出、现象明显的物理演示实验的操作和讲解,将物理现象和物理规律展现给学生观察,达到帮助学生对教学内容的理解、启发促进学生思考和培养学生物理思维能力。这种课堂演示实验是大学物理课程的重要组成部分。

随着现代科学技术的飞速进步和它对人们物质文明与社会文明的推动,现在很多大学将通识教育和科普教育也纳入了理工科学生和文科类学生公共选修课之中。物理演示实验教学为适应这种变化,无论是内容上还是教学形式上都发生了很大的变化。现在不少大学将原来穿插在理论教学中的物理演示实验形式改进为开放实验教学形式,由教师操作为主变化到学生操作演示为主,由原来的配合课堂教学为主变化为既包含配合大学物理教学的演示实验又包含物理原理在现代社会生活中的应用的演示实验。我们学校大学物理实验中心根据这种形势的变化,从2006年开始将物理演示实验开设为面向全校学生的公共选修课。这些物理演示实验得到学生的认可,本书就是根据几年的教学实践和经验编写而成。

本书内容包括力学、热学、电磁学和光学等几部分,总计116个实验项目。每个实验分别介绍了实验目的、实验装置、实验原理、演示方法与现象、思考题等部分。

本书的编写中,我们注重了以下几个方面:

1. 因本书使用者设定为大学一、二年级的理工科和部分文科学生,他们的大学物理课程刚刚开始或尚未开出。他们这阶段的物理知识水平大部分限于高中物理基础,为使他们在开放实验室能对物理演示实验进行操作和讲解,因此编写中的演示实验原理部分力求通俗易懂,突出物理思想,尽量避免物理公式的数学推导,使本书成为他们适用的教材或参考书。

2. 在实验内容和项目选取上既有紧密配合大学物理教学项目又增加了反映古代科技和现代社会生活中应用物理原理的实验项目,例如,“编钟演示”、“倒流壶”、“微波炉”、“电磁炉”等项目,以增加实验的科普性和趣味性,使学生体会物理现象无处不在,更是了解物理知识贯穿在生产和生活中的各个方面,达到现代通识教育的作用。

3. 鉴于物理演示实验的现象从不同角度看往往是很丰富,为了减少学生的定向思维限制,本书在“演示方法与现象”部分操作内容介绍编写得较详细,实验现象描述一般省略或写得较少,而是将实验现象观察方法以提示方式写到实验步骤之中,这样编写目的是使学生不仅知道怎么演示操作,更注重边操作边观察边思考的方法。为拓展学生思维,本书每个实验项目均有精选了几个“思考题”作为实验后的学生思考题作业,也可以作为拓展知识或思维之用。

4. 本书编写时除参考了其他相关教材外,还汇集了几年来我们大学物理实验中心教师的教学心得体会,融入了自制仪器设备的特色,例如“飞机升力原理”、“曲径先捷”、“电致发光”等,使本书具有了自己的个性。

本书“力热学部分”的编写由廖家欣老师负责,电磁学部分由邓敏老师负责,光学部分由何兴老师负责。唐贵平老师负责组稿、统稿。编写过程得到长沙理工大学教务处和物理与电子科学学院领导关心和大力支持,也得到参加大学物理演示实验教学的所有教师帮助和支持,在此表示衷心感谢。本书的出版还得到湖南省社科基金项目(12YBB003),湖南省教改项目(SJ0902)与湖南省重点学科建设项目的资助。

由于编者水平有限和时间仓促,书中如有缺点和错误恳请读者予以批评指正。

目 录

第 1 篇 力热学及其综合演示实验	1
实验 1-1 质心运动(杠杆式)演示	1
实验 1-2 多球竞走	2
实验 1-3 曲径先捷	3
实验 1-4 过山车模拟	5
实验 1-5 科里奥利力演示	6
实验 1-6 角动量守恒演示	8
实验 1-7 多球碰撞演示	9
实验 1-8 锥体上滚	10
实验 1-9 进动演示	11
实验 1-10 陀螺仪定向特性的演示	14
实验 1-11 滚柱式转动惯量演示	15
实验 1-12 滚摆运动与机械能守恒定律演示	16
实验 1-13 频闪法测量风扇转速	18
实验 1-14 倒流壶	19
实验 1-15 公平杯	20
实验 1-16 傅科摆	21
实验 1-17 单摆式共振演示	23
实验 1-18 磁单摆混沌演示	25
实验 1-19 受迫振动演示	26
实验 1-20 垂直振动的合成	27
实验 1-21 音叉的共振演示	30
实验 1-22 水波演示	31
实验 1-23 驻波(绳波)演示	33
实验 1-24 鱼洗	34
实验 1-25 超声雾化演示	36
实验 1-26 编钟演示	37
实验 1-27 台式皂膜演示	38
实验 1-28 多普勒效应演示	39
实验 1-29 气体流速与压强的关系演示	41

实验 1-30	飞机升力原理演示	43
实验 1-31	龙卷风的模拟	44
实验 1-32	逆风行舟	46
实验 1-33	流体流线演示	48
实验 1-34	热力学第二定律的演示	49
实验 1-35	伽尔顿板	50
实验 1-36	形状记忆合金花	51
实验 1-37	冰箱工作原理演示	53
第 2 篇 电磁学及其综合演示实验		55
实验 2-1	几种常见带电体的电场线	55
实验 2-2	导体表面的场强大小与曲率的关系演示	57
实验 2-3	电风轮	59
实验 2-4	电风吹火 - 尖端放电演示	60
实验 2-5	静电滚筒	61
实验 2-6	静电跳球	62
实验 2-7	静电除尘	63
实验 2-8	静电植绒	64
实验 2-9	静电屏蔽演示	66
实验 2-10	避雷针	68
实验 2-11	滴水自激感应起电机	69
实验 2-12	范德格拉夫静电起电机	71
实验 2-13	感应起电机	72
实验 2-14	静电感应盘	74
实验 2-15	日光灯的工作原理演示	75
实验 2-16	高压带电作业演示	76
实验 2-17	雅格布天梯演示	78
实验 2-18	电介质的极化演示	79
实验 2-19	绝缘体转换为导体演示	81
实验 2-20	手触电池	82
实验 2-21	半导体制冷演示	83
实验 2-22	半导体温差电堆演示	85
实验 2-23	巴克豪森效应演示	87
实验 2-24	热磁轮	89
实验 2-25	光点反射法演示磁致伸缩	91
实验 2-26	电磁感应演示	92
实验 2-27	楞次定律的验证	93

实验 2-28	自感现象演示	95
实验 2-29	亥姆霍兹线圈磁场演示	96
实验 2-30	趋肤效应演示	98
实验 2-31	涡流阻尼摆	99
实验 2-32	磁悬浮列车演示	101
实验 2-33	常温磁悬浮地球仪	103
实验 2-34	霍尔无刷直流电机演示	104
实验 2-35	人体热释电红外线传感器演示	106
实验 2-36	可燃气体检测报警器演示	108
实验 2-37	电子体重计	109
实验 2-38	电子血压计演示	110
实验 2-39	微波炉工作原理与电磁辐射检测	112
实验 2-40	电磁炉工作原理演示	114
实验 2-41	门磁探测器演示	115
第 3 篇	光学及其综合演示实验	117
实验 3-1	无源之水	117
实验 3-2	直角镜的演示	118
实验 3-3	光学幻影	119
实验 3-4	窥视无穷	120
实验 3-5	望远镜演示	122
实验 3-6	显微镜演示	123
实验 3-7	导光水柱	124
实验 3-8	海市蜃楼演示	125
实验 3-9	透光铜镜	127
实验 3-10	红绿立体图	128
实验 3-11	光纤灯演示	129
实验 3-12	光纤通信演示	130
实验 3-13	光栅立体画	132
实验 3-14	偏振仪上的起偏与检偏演示	133
实验 3-15	偏振光干涉演示	135
实验 3-16	光的反射与折射的偏振演示	137
实验 3-17	菲涅耳衍射演示	139
实验 3-18	夫琅禾费衍射演示 1	143
实验 3-19	夫琅禾费衍射演示 2	146
实验 3-20	光栅光谱的观察	148
实验 3-21	肥皂膜的等厚干涉	150

实验 3-22	牛顿环演示薄膜干涉	151
实验 3-23	两平晶间空气膜的等厚和等倾干涉演示	152
实验 3-24	晶体的双折射演示	154
实验 3-25	辉光球	156
实验 3-26	光的色散现象演示	157
实验 3-27	三基色合成演示	159
实验 3-28	太阳能电池及应用演示	160
实验 3-29	热辐射和吸收演示	161
实验 3-30	半导体绿激光器	163
实验 3-31	激光满天星	164
实验 3-32	激光测距原理演示	165
实验 3-33	反射白光全息图	167
实验 3-34	氢燃料电池演示	168
实验 3-35	电致发光	170
实验 3-36	烟雾传感器演示	171
实验 3-37	用计算机研究点光源的光照与距离的关系	172
实验 3-38	LED 彩球演示	173
参考文献		176

第1篇 力热学及其综合演示实验

实验1-1 质心运动(杠杆式)演示

[实验目的]

通过质心运动演示实验,理解质心运动定律和刚体运动。

[实验装置]

质心运动演示仪由打击器和不对称的小哑铃构成,如图1所示。

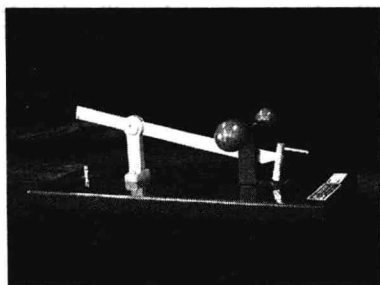


图1 质心运动演示仪

[物理原理]

刚体动力学理论表明,刚体的任何运动都可以分解为平动和转动,即质量集中于质心的平动和各质点绕质心的转动。质心的平动遵循质心运动定理,即质心系所受到的合外力等于质点组的质量之和乘以质心的加速度。各质点绕质心的转动遵循角动量定理,即质心系所受到的合力矩等于质点系统绕质心的转动惯量乘以其角加速度之和。

上述两定理表明,刚体质心的运动取决于所受的合外力。若合外力不为零,但对刚体质心的合力矩为零,则刚体不会转动,只有平动;若合外力不为零,且合外力对刚体质心的合力矩不为零,则刚体的运动是由质心平动和绕质心的转动叠加而成的。

[演示方法与现象]

1. 将打击棒压下,用卡扣卡住。把哑铃放在支架上,使哑铃的质心标记正对打击棒的上方。打开卡扣,棒击在哑铃的质心。打击力竖直通过质心。这时作用在哑铃上的外力对质心的力矩为零,可看到哑铃仅作向上的平动。

2. 再将打击棒压下,用卡扣卡住。把哑铃放在支架上,使哑铃的质心标记偏离打击

棒。打开卡扣,打击力竖直向上、不通过质心,这时作用在哑铃上的外力对质心的力矩不为零,可看到哑铃既有平动又有转动,即哑铃既往上运动又在空中旋转。

3. 重复上述实验,并对现象进行解释。

[思考题]

1. 为了做好实验,找出质心位置非常重要,怎样才能快速找到哑铃质心位置? 哑铃在支架上受到打击时受到几个力作用?(考虑未离开和离开两种情况。)

2. 子弹射出枪管后,由于速度非常快,为了保证子弹不翻滚,提高命中率,技术上采取了哪些措施,你能解释吗?

[注意事项]

打击力必须是强而短促的冲击力。否则,当打击力不通过质心又不够大时,则打击过程较为缓慢,结果哑铃的一端先被抬起,在打击力和支架另一端的作用力作用下,哑铃将抛向一侧,而不是竖直向上运动。

实验 1-2 多球竞走

[实验目的]

通过多球竞走实验的演示与分析,提高力学分析方法应用的能力。

[实验装置]

多球竞走实验演示装置由倾角相同但宽度不同的多条导轨构成,另外配有两个直径相等和两个直径不等的空心钢球,如图 1 所示。

[物理原理]

如图 2 所示,钢球在斜面(设倾角为 α)下滚,受到的作用力有重力 mg 、斜面支承力 N 及摩擦力 f 。

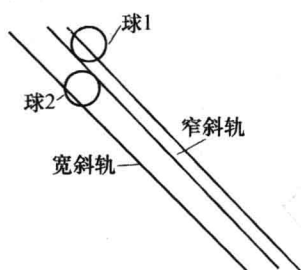


图 1 多球竞走实验装置示意图

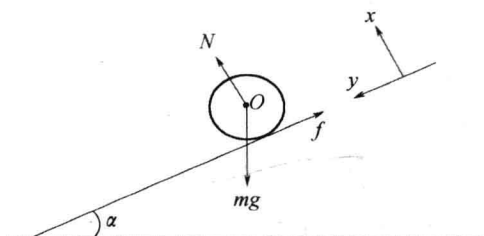


图 2 钢球斜坡上受力示意图

设钢球运动过程是纯滚动运动,依据质心运动定律和角动量定理,可以得到以下方程:

$$mg\sin\alpha - f = ma_y$$

$$N - mg\cos\alpha = 0$$

$$fR = J\beta$$

$$a_y = R\beta$$

式中, R 为球在导轨上的两接触点的连线到球心的垂直距离; J 为球的转动惯量; a_y 为质心下滑的加速度; β 为球对球心的角加速度。解上述方程组可得

$$a_y = \frac{mg\sin\alpha}{JR^{-2} + m}$$

上式表明在其他条件相同的情况下, R 越大, 则质心加速度 a_y 越大, 反之 a_y 越小。静止释放钢球, 对两个倾角都为 α 的直导轨, 同样直径的钢球在宽导轨上的转动半径比在窄导轨上的转动半径小, 因此球在窄轨上下落的加速度比在宽导轨上下落的加速度要大, 走完同样距离所花的时间也短些。

[演示方法与现象]

1. 观察多导轨的结构。
2. 将两直径相同的钢球同时从不同宽度的导轨静止释放, 观察谁先达到底端; 演示重复几次, 总结实验结果。
3. 再将不同直径的钢球从两导轨上端释放, 要求直径小的球从窄导轨下落, 重复几次, 总结实验结果。
4. 对上述结果进行分析解释。

[思考题]

1. 如果让两直径相同的钢球以相同速度由宽窄不同的导轨下端向上运动, 你能推出什么结论?
2. 同一个人骑质量差不多的两部单车, 一辆是大轮单车, 一辆是小轮单车。如果下同一个坡, 哪辆单车会下得快些? 请解释。

实验 1-3 曲径先捷

[实验目的]

通过对不同导轨下落的钢球运动演示, 学习和理解变速运动路程的分析方法。

[实验装置]

装置由两个高度差相等的导轨组成, 一个是弯曲的导轨, 一个是平直的斜导轨。两个钢球可以分别从两导轨落下, 如图 1 所示。

[物理原理]

两个高度差相等的导轨上端的两个等质量的钢球, 其势能是相等的, 下落过程中钢球

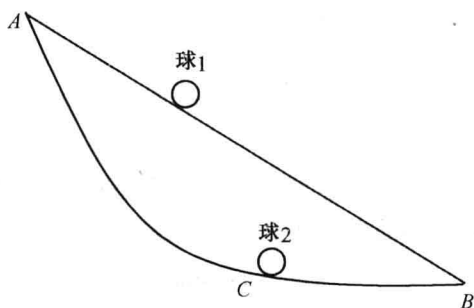


图1 曲径先捷装置示意图

机械能可近似认为守恒,因而两球下降到最低点时的速度 $v_{\max}$ 都会相等。钢球1在直导轨(AB)的下落过程中做匀加速运动,达到底端 B 时速度等于最大值 $v_{\max}$ 。钢球2在曲线导轨(ACB)的下落过程中做变加速运动,达到最大速度 $v_{\max}$ 时是在其最低位置 C ,它比直导轨运动的钢球1先达到速度最大值 $v_{\max}$,钢球2在运动过程中的速度始终比直导轨的钢球1的速度大得多,因此同样时间内所走的距离要多些,这种现象我们称之为曲径先捷。

图2为两球速度与时间变化的关系图, $O-A_1-A_2$ 是曲线导轨钢球2的, $O-A_2$ 是直导轨钢球1的。根据速度—时间坐标意义和速度定义可知,物体运动的路程是速度对时间的积分。在 $O-A_3$ 段时间,曲线导轨钢球2的路程为 $O-A_1-A_2-A_3$ 所围面积 ($s_{\text{曲}} = \int_0^{A_1} v(t) dt + \int_{A_1}^{A_2} v(t) dt$),直导轨钢球的路程为 $O-A_2-A_3$ 所围面积 ($s_{\text{直}} = \int_0^{A_2} v(t) dt$),曲线导轨钢球1的路程多出了 $O-A_1-A_2$ 所围面积,这是钢球2在曲线导轨上比钢球1在直导轨走相等时间多出的路程,它比图1中曲线 ACB 的长度减去直线 AB 的长度的差值大,所以钢球2比钢球1先到底端。

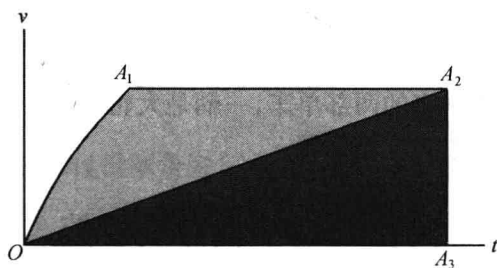


图2 速度时间图

我国古代建筑工匠早已发现曲径先捷现象,并将这一特点应用到古代皇宫和寺庙建筑的屋檐建造上,使雨水能尽快排走。

不计阻力,物体在高度差相同的两点之间走什么样的曲线花时间最少(又称最速降线),这个问题16世纪时就有人进行了分析和实验,直到1697年,科学家牛顿、莱布尼茨等人通过微积分方法证明这条最速降线就是一条摆线,也叫旋轮线。

[演示方法与现象]

1. 手持两个形状一致的钢球置于两导轨的上端,使球由从静止状态下滚。观察哪个

钢球先到底端位置。

2. 重复几次实验,解释现象的原因。

[思考题]

对同样的实验装置,如果让两小球以同样速度同时沿两导轨从下向上运动,你认为哪个先到顶端,为什么?

[注意事项]

钢球跌落要及时寻找,避免遗失。实验结束钢球要放回收藏盒中。

实验 1-4 过山车模拟

[实验目的]

用小球过离心轨道的运动模拟过山车运动,学习和理解曲线运动的分析方法。

[实验装置]

离心轨道演示仪(图 1),米尺。

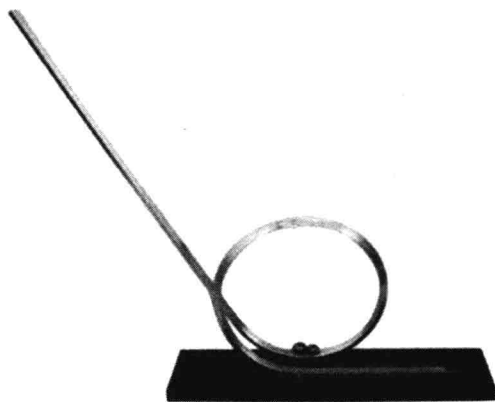


图 1 离心轨道演示仪

[物理原理]

质量为 m 半径为 r 的小球从高为 H 的位置滚下,作无滑动的纯滚动,运动过程中受到的作用力有重力、导轨的支持力和摩擦力。若要小球不从半径为 R 的圆形轨道最高处掉下,小球受到的向心力 $F_{\text{向}}$ 必须满足

$$F_{\text{向}} = m \frac{v^2}{R-r} \geq mg \quad (1)$$

小球做无滑动的纯滚动,可以证明摩擦力不做功,小球运动过程中机械能守恒,于是小球在最高处静止时的势能与小球在圆形轨道最高处的动能及势能相等,满足:

$$mgH = 2mgR + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}mr^2\right)\left(\frac{v^2}{r}\right) = 2mgR + \frac{7}{10}mv^2 \quad (2)$$

式(2)右边三项是小球过圆形轨道最高处的势能、平动动能和滚动动能。当 $R \gg r$ 时,联立式(1)和式(2)可得:

$$H \geq 2.7R \quad (3)$$

考虑小球一般不仅做滚动还有滑动,实际上小球的起始高度还应加大。

[演示方法与现象]

1. 把小球放在轨道顶端,让它从静止开始滚下,观察球的运动。
2. 降低小球释放的高度,使它从静止释放刚好能通过圆形导轨最高处,并用米尺测量起点高度。
3. 再减少高度,观察小球的运动,并用米尺测量起点高度。
4. 用米尺测量轨道直径,计算小球刚好不从导轨落下来的理论高度,和实验测量值进行比较。

[思考题]

如用半径相同的空心球代替实心球,为使小球也能完成通过圆形轨道最高处,轨道的起始高度应怎样调整? 小球的质量大小对结果有影响吗?

[注意事项]

圆形轨道是焊接拼成的,实验中不要弯曲导轨。

实验 1-5 科里奥利力演示

[实验目的]

演示转动的非惯性系中科里奥利力的产生与特点。

[实验装置]

转盘式科里奥利力演示仪如图 1 所示,由以下几个部分构成:转盘、斜导轨、小球、支柱、底座。

[物理原理]

牛顿第一定律成立的参考系称为惯性系。若一个参考系相对惯性系的加速度不为零,则称为非惯性系。例如,地球近似作为惯性系,那么相对地面作加速上升的电梯、圆周运动的过山车就是非惯性系。

非惯性系中的观察者为了将牛顿定律运用到非惯性系中,须引入惯性力。如对旋转雨伞,相对于伞静止的雨水受到惯性离心力作用有被甩出的趋势,这个惯性离心力就是以旋转雨伞为参考系而引入的惯性力。在一个转动的非惯性系中要运用牛顿定律,系统中

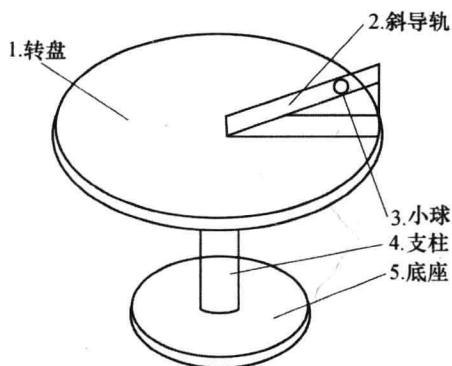


图1 转盘式科里奥利力演示仪

静止的物体受力分析除了要考虑真实力外,还要引入惯性离心力;对于运动的物体进行受力分析,除了要考虑真实力、惯性离心力外,还需引入另一个称为科里奥利力的惯性力,该力满足

$$f_k = 2m\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$$

式中, m 为物体的质量, $\boldsymbol{\omega}$ 是转动参考系的转动角速度(对惯性系), $\mathbf{v}$ 是物体相对转动参考系的径向速度。

地球相对太阳系既自转又公转,是非惯性系。它自西向东转动,因此运动的物体在地球上均受到科里奥利力作用。虽然运动物体在地球上受到的科里奥利力不明显,但是经过长年累月,还是能观察到自然界科里奥利力产生的效应的(见思考题)。

[演示方法与现象]

1. 转盘静止,从斜导轨上端释放小球,观察其在转盘平台上的运动轨迹。
2. 顺时针缓慢转动转盘,从斜导轨上端释放小球,观察其在转盘平台上的运动轨迹。
3. 再逆时针缓慢转动转盘,从斜导轨上端释放小球,观察其在转盘平台上的运动轨迹。
4. 分析和解释小球在转盘平台上的运动。

[思考题]

1. 为什么地球南北半球强热带风暴形成的旋涡其旋转方向不同?
2. 在北半球,若河水自南向北流,则东岸受到的冲刷严重,试由科里奥利力进行解释。若河水在南半球自南向北流,哪边河岸冲刷较严重?
3. 如果实验中的小球用固定在地面上的摄像机摄像,将转盘背景处理为看不见,问小球的运动轨迹可能是怎样的?为什么?

[注意事项]

1. 实验中转动转盘不能太快,以防小球甩飞。
2. 实验后小球要及时放回小盖中,以备下次实验使用。

实验 1-6 角动量守恒演示

〔实验目的〕

利用茹可夫斯基凳,演示角动量守恒。

〔实验装置〕

茹可夫斯基凳是一个装有轴承的转椅,人坐在椅上可手拿哑铃转动进行实验,如图 1 所示。

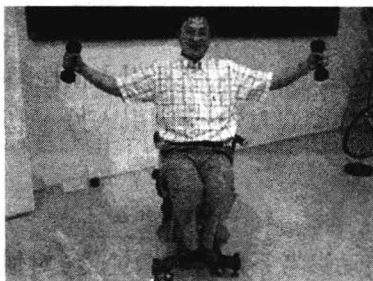


图 1 茹可夫斯基凳演示

〔物理原理〕

绕定轴转动的系统,其角速度 ω 乘以转动惯量 J 定义为角动量。角动量守恒定律表述为:绕定轴转动的系统所受合外力矩为零时,系统对转轴的角动量守恒,即 $J\omega = \text{恒量}$ 。在合外力矩为零的条件下,当系统的转动惯量 J 为常量时, ω 也不变,维持角动量守恒;若转动系统通过内力改变它对转轴的转动惯量 J ,则系统的角速度 ω 就会产生相应的变化, J 增大时 ω 就减小, J 减小时 ω 就增大,维持系统的角动量守恒: $J\omega = \text{恒量}$ 。在茹可夫斯基凳实验中,人和椅子看成是一个转动系统,如果略去椅子转轴受到的摩擦力矩,人坐在凳上旋转,通过手拿哑铃,双臂伸展或收缩,改变了系统的转动惯量,那么转动系统的角速度就会相应变化,维持角动量守恒定律成立。

〔演示方法与现象〕

1. 实验者坐到凳子上,系好安全带,手握紧哑铃置于胸前。
2. 另一人转动凳子后松手,实验者缓慢做伸展和收缩手臂的动作,体会转动速度的变化。
3. 总结和解释实验现象。

〔思考题〕

花样滑冰和跳水运动员往往做些高难度动作,试问哪些动作现象可以运用角动量守恒定律解释?