

高等院校基础物理教材

大学物理演示实验

Demonstration Experiments of University Physics

主 编 张 智
副主编 陈曙光 郑采星 谢自芳
参 编 文利群 刘利辉 田泽安
刘晃清 肖艳萍 廖 珊
洪 涛 周桐辉

湖南大学出版社

2005年·长沙

内 容 简 介

本书包括力、热学,光学,电学和磁学四大部分,其中包括近代物理的部分内容。全书以实验项目为单位,从“物理现象”入手介绍“演示装置”和“注意事项”,重点放在“演示方法”和“物理原理”上,并提出“探索思考”问题。

本书在叙述上尽量避免繁琐的物理公式,力求用通俗易懂的语言、实物照片和简图对物理演示实验项目进行说明,以达到物理演示通识教育的目的。本书不仅适合理工专业的学生,也同样适合文科、经济、管理等非理工专业的学生。

本书可供普通高等院校作为物理演示实验选修课的教材使用,同时也是中专和中学物理教学的重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理演示实验/张智主编. —长沙:湖南大学出版社,2005.8

ISBN 7-81053-986-8

I. 大... II. 张... III. 物理学—实验—高等学校—教材

IV. 04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092612 号

大学物理演示实验

Daxue Wuli Yanshi Shiyan

作 者: 张 智 主 编

责任编辑: 厉 亚

责任校对: 张建平

封面设计: 吴颖辉

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山 邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部),8821315(编辑室),8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

总 经 销: 湖南省新华书店

印 装: 湖南大学印刷厂

开本: 730×960 16开

印张: 11

字数: 190千

版次: 2005年9月第1版

印次: 2005年9月第1次印刷

印数: 1~10 000册

书号: ISBN 7-81053-986-8/O·63

定价: 16.00元

版权所有,盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

大学物理系列教材

编委会

顾	问	沈抗存	刘全慧	何维杰
		赵仲黑	李炳虎	
主	任	王玲玲		
副	主	陈曙光	张智	
		谢中	黄建刚	
委	员	(以姓氏笔画为序)		
		王鑫	文利群	刘利辉
		陈小林	郑采星	谢自芳
		彭军	翦知渐	

前 言

物理现象无时不有、无处不在,贯穿在人们生活的各个方面。对物理现象的探究可以很好地提高人们分析和解决问题的能力,培养人们细致观察、全面分析、逻辑思维和研究对策的能力。这种能力不仅对学习物理有所帮助,而且对其他课程也有一定的推动作用,是培养学生素质和换位思维的好方法。

本书包括力、热学,光学,电学和磁学四大部分,其中包括近代物理的部分内容,共计144个实验,包括力、热学实验35个,光学实验44个,电学实验32个,磁学实验33个。全书以实验项目为单位,从“物理现象”入手介绍“演示装置”和“注意事项”,重点放在“演示方法”和“物理原理”上,并提出“探索思考”问题。本书在叙述上尽量避免繁琐的物理公式,力求用通俗易懂的语言、实物照片和简图对物理演示实验项目进行说明,以达到物理演示通识教育的目的。本书不仅适合理工专业的学生,也同样适合文科、经济、管理等非理工专业的学生。

根据《开放实验》课程的需要和大学物理演示实验室的规模,开设“理工通识教育”和“文科通识教育”两个层次的“大学物理演示实验”公选必修课程,共计8学时。对文理科所开放的实验项目相同,但要求不同。对文科生则以观察物理现象为主,结合专业特点和生活实际,了解物理原理;对理工科学生则要求在观察物理现象的同时,结合物理课程、应用物理原理、拓宽思维想象,以现象观察提高理论学习,以理论学习深入观察物理现象。全课程分布在两个学期,分四次完成,每次2学时,每次做一个类别的实验,每个类别的实验不少于30个。第一学期为力、热学类和光学类,第二学期为电学类和磁学类。每个实验都包括探索思考的题目,以促进思维和提高满足“理工探索教育”层次的实验需要。

由于实验多、学时少,要求学生在实验前做好预习,实验中注意观察和记录,实验后及时总结。演示实验设备都是单台套的,要求学生在实验过程中严格“注意事项”,按照“演示方法”,验证“物理原理”。实验过程中要保护实验设备和仪器。

参加本书编写的有谢自芳、刘利辉、文利群、洪涛、田泽安、张智、刘晃清、周桐辉、郑采星、陈曙光和肖艳萍,其中,谢自芳执笔 1.1.1~1.1.8, 1.1.11~1.1.12;刘利辉执笔 1.1.13, 1.2.1~1.2.4, 1.3.12~1.3.14;文利群执笔 1.3.2~1.3.11,洪涛执笔 1.1.9~1.1.10, 1.3.1;田泽安执笔 2.1.1~2.1.4, 2.1.8~2.1.9, 2.1.11~2.1.14;张智执笔 2.1.5~2.1.7, 2.1.10, 2.2.1~2.2.10, 2.3.1~2.3.4, 2.4.4, 2.4.7~2.4.8, 2.4.14~2.4.16, 3.1.12,刘晃清执笔 2.4.1~2.4.3, 2.4.6, 2.4.10, 2.4.12,周桐辉执笔 2.4.5, 2.4.9, 2.4.11, 2.4.13;郑采星执笔 1.4.1~1.4.4, 3.1.1~3.1.11, 3.2.1~3.2.12, 3.3.1~3.3.7;陈曙光执笔 3.3.8,4.1.4~4.1.11, 4.3.1~4.3.13, 4.4.1~4.4.5,4.4.7~4.4.8;肖艳萍执笔 4.1.1~4.1.3, 4.2.1, 4.4.6。书中全部照片由张智和廖珊拍摄并处理。

全书由张智负责筹划、修改、统稿、审稿和定稿,由谢自芳(力学)、张智(光学)、郑采星(热学、电学)、陈曙光(磁学)负责各部分的初审和修改。在本书的编写过程中,得到了湖南大学教务处和应用物理系领导的关心和大力支持,得到了大学物理教研室王鑫、崇桂书、周群益、彭军、禹萍、匡双七等其他老师的帮助和指导,研究生助教李强、龙孟秋、杨峰、龙晖、邹伟华、戴小玉、项元江、曾晖、王榕和赖玫玫也做了大量的工作,在此一并表示衷心感谢。

由于编写时间仓促和编者水平有限,书中如有缺点和错误,恳请读者斧正。

编者

2005年7月

目 次

1 力、热学

1.1 力 学	1
1.1.1 向心力	1
1.1.2 弹性碰撞	2
1.1.3 圆锥爬坡	3
1.1.4 科里奥利力	3
1.1.5 傅科摆	5
1.1.6 质心运动	6
1.1.7 转动定律	7
1.1.8 角速度合成	8
1.1.9 直升飞机的角动量守恒	9
1.1.10 角动量守恒转台	11
1.1.11 常平架回转仪	12
1.1.12 进动演示仪	13
1.1.13 混沌摆	14
1.2 空气动力学	15
1.2.1 气体流速与压强演示仪	15
1.2.2 飞机升力	16
1.2.3 伯努利悬浮球	17
1.2.4 气体涡旋演示仪	18
1.3 振动与波	18
1.3.1 旋转矢量演示仪	18
1.3.2 简谐振动合成仪	19
1.3.3 机械共振	22

1.3.4	音叉	23
1.3.5	拍频摆	24
1.3.6	驻波共振	24
1.3.7	纵驻波	26
1.3.8	昆特管	27
1.3.9	鱼洗	28
1.3.10	水波干涉	29
1.3.11	傅立叶振动合成仪	30
1.3.12	声波波形演示仪	32
1.3.13	声聚焦	33
1.3.14	超声雾化	34
1.4	热学	35
1.4.1	分子运动	35
1.4.2	伽尔顿板	36
1.4.3	模拟电冰箱实验装置	37
1.4.4	投影式相临界点状态演示仪	39

2 光 学

2.1	几何光学	40
2.1.1	分光计	40
2.1.2	三棱镜	41
2.1.3	尼克尔棱镜模型	42
2.1.4	方解石与双折射	43
2.1.5	窥视无穷	44
2.1.6	人造火焰	45
2.1.7	光栅变换图	46
2.1.8	激光反射运动合成仪	47
2.1.9	反射式高倍望远镜	48
2.1.10	海市蜃景演示仪	50
2.1.11	光学幻影演示仪	52
2.1.12	光学分形演示仪	53
2.1.13	普氏摆	53
2.1.14	光瞳实验演示仪	54

2.2	波动光学	56
2.2.1	动态多缝衍射强度实时显示仪	56
2.2.2	旋转式小孔衍射仪	58
2.2.3	散射光干涉演示仪	60
2.2.4	激光光纤干涉演示仪	62
2.2.5	台式皂膜	63
2.2.6	帘式皂膜	64
2.2.7	光栅视镜系统	66
2.2.8	光学仪器分辨率	67
2.2.9	反射白光全息图	69
2.2.10	透射白光全息合成图	70
2.3	偏振光学	71
2.3.1	自然光、偏振光模型	71
2.3.2	偏振光状态演示仪	73
2.3.3	旋光色散演示仪	77
2.3.4	偏振光干涉、应力演示仪	79
2.4	光学综合	80
2.4.1	热辐射机	80
2.4.2	氦氖激光器	81
2.4.3	看得见的激光	82
2.4.4	绿激光器	83
2.4.5	激光光学演示仪	84
2.4.6	红外接收演示仪	85
2.4.7	梦幻时钟	86
2.4.8	梦幻球	87
2.4.9	激光多普勒试验仪	89
2.4.10	超声光栅演示仪	90
2.4.11	电光调制演示仪	91
2.4.12	法拉第磁旋光演示仪	92
2.4.13	光纤和互感通讯演示仪	94
2.4.14	3D立体影像演示仪	95
2.4.15	光纤陀螺演示仪	97
2.4.16	夫兰克-赫兹演示仪	99

3 电 学

3.1 静电学	102
3.1.1 维氏起电机	102
3.1.2 高压电源	103
3.1.3 指针验电器	104
3.1.4 静电摆球	105
3.1.5 静电除尘	106
3.1.6 静电跳球	106
3.1.7 静电植绒	107
3.1.8 雅格布天梯	108
3.1.9 低气压下辉光放电	108
3.1.10 辉光球、辉光盘	109
3.1.11 电子束偏转	110
3.1.12 库仑扭秤	110
3.2 导体与电介质	111
3.2.1 静电感应盘	111
3.2.2 卡文迪许球	112
3.2.3 导体静电荷按曲率分布	113
3.2.4 尖端放电	114
3.2.5 电风轮、电风转筒	115
3.2.6 避雷针	115
3.2.7 静电屏蔽	116
3.2.8 高压带电作业	117
3.2.9 电介质极化	118
3.2.10 电介质对电容影响	119
3.2.11 PGM—II 数字小电容测试仪	120
3.2.12 绝缘体转换为导体	121
3.3 电学综合	122
3.3.1 手触式电池	122
3.3.2 压电效应	123
3.3.3 基尔霍夫定律	124
3.3.4 RLC 电路串并联谐振	125

3.3.5	通电断电自感现象	126
3.3.6	RC 电路时间常数	127
3.3.7	电磁波反射接收与趋肤效应	129
3.3.8	热效率演示仪	130

4 磁 学

4.1	磁场	132
4.1.1	亥姆霍兹线圈	132
4.1.2	圆电流磁力线	133
4.1.3	单相旋转磁场	134
4.1.4	磁力演示仪	135
4.1.5	洛仑兹力实验仪	135
4.1.6	投影式洛仑兹力	137
4.1.7	矩形载流线框在磁场中的受力	138
4.1.8	磁场对载流直导线的作用	138
4.1.9	载流线圈相互作用	139
4.1.10	载流线圈在磁场中转动	140
4.1.11	运动电荷在磁场中偏转	140
4.2	磁介质	141
4.2.1	顺磁介质的磁化	141
4.3	电磁感应	142
4.3.1	电磁感应	142
4.3.2	电磁驱动	143
4.3.3	互感音频演示仪	144
4.3.4	单相手摇发电机	144
4.3.5	交直流两用电动机	145
4.3.6	电磁起重机	146
4.3.7	三相鼠笼电动机	147
4.3.8	三相发电机	148
4.3.9	阻尼与非阻尼摆	149
4.3.10	涡流管	149
4.3.11	电磁炮	150
4.3.12	涡流热效应	151

4.3.13	热磁轮演示仪·····	152
4.4	磁学综合·····	153
4.4.1	温差电磁铁·····	153
4.4.2	能量转换轮·····	154
4.4.3	奥斯特实验仪·····	155
4.4.4	巴比轮演示仪·····	155
4.4.5	巴克豪森效应演示仪·····	156
4.4.6	帕尔贴效应演示仪·····	157
4.4.7	等厚干涉磁致伸缩演示仪·····	158
4.4.8	超导磁悬浮列车演示仪·····	159
 参考文献 ·····		 161

1 力、热学

1.1 力学

1.1.1 向心力

〔物理现象〕 做圆周运动物体受到的向心力与物体的质量、物体到轴的距离和转速之间的关系。

〔演示装置〕 如图 1.1 所示,向心力演示仪主要包括转盘和可测力装置。

〔注意事项〕 摇动手柄时,不能用力过大,克服惯性加力要缓慢,以免损坏仪器。

〔演示方法〕 演示向心力与质量的关系:

1. 将质量分别为 m_1 、 m_2 的小球分别放在长、短旋臂上,两球到轴的距离相等;
2. 将橡皮带套在两个大小相同的变速轮上,使两个小球转动的角速度 $\omega_1 : \omega_2 = 1 : 1$;

3. 摇动手柄,可以看到:若 $m_1 = m_2$,则两示力标尺上的读数相同,说明两球所需的向心力相同;若 $m_1 \neq m_2$,则两示力标尺上的读数不同,质量越大,其示数越大,说明所需向心力越大。

演示向心力与轨道半径的关系:

1. 接上实验,将质量相等的两钢球分别放在离轴距离不等的长短旋臂上;
2. 摇动手柄,可以看到两示力标尺上示数不同,离轴越远,半径 R 越大,所需向心力也越大。

演示向心力与转速 ω 的关系:

1. 将质量相等的两钢球分别放在长短旋臂上,两球到轴的距离相等;
2. 将橡皮带套在半径不同的转轮上,使它们的转速不等,即 $\omega_1 \neq \omega_2$;



图 1.1 向心力演示仪

3. 摇动手柄,可以看到 ω 越大的,示力标尺读数越大,说明所需向心力也越大。

[物理原理] 物体做圆周运动时所需的向心力

$$F = m \frac{v^2}{R} = mR\omega^2。$$

[探索思考] 试分析物体做一般曲线运动所受到的向心力。

1. 1. 2 弹性碰撞

[物理现象] 多个刚性小球弹性正碰现象。

[演示装置] 如图 1.2 所示,弹性碰撞仪上悬挂的 7 个刚性球一字排开。

[注意事项]

1. 随时注意保持 7 个摆球的球心处于同一直线上;
2. 球的摆幅不要大,否则效果反而不好;
3. 不要用力拉球,以免悬线断开。

[演示方法]

1. 调整固定摆球悬线的螺丝,尽量使摆球的中心处于同一直线上;
2. 拉起最左边的一个摆球,然后释放,让其撞击其他的摆球,可看到最右边的一个球立即摆起,其摆幅几乎等于最左边摆球的摆幅;
3. 同时拉起左边的两个摆球、三个摆球或四个摆球,释放,让其撞击剩余的摆球,可看到另一边相同数目的摆球立即摆起,其摆幅几乎等于被拉起摆球的摆幅。

[物理原理] 在理想情况下,完全弹性碰撞的物理过程满足动量守恒和能量守恒。如果两个碰撞小球的质量相等,联立动量守恒和能量守恒方程式可解得:两个小球碰撞后交换速度。如果被碰撞的小球原来静止,则碰撞后该小球具有了与碰撞小球同样大小的速度,而碰撞小球则停止。多个小球碰撞时可以进行类似的分析。事实上,由于小球间的碰撞并非理想的弹性碰撞,还是有能量损失的,所以最后小球还是要停下来。

[探索思考] 试用动量守恒和能量守恒的原理,分析用质量不等的刚性小球弹性正碰,将会出现什么现象? 两个弹性球的任意碰撞如何求解?



图 1.2 弹性碰撞仪

1. 1. 3 圆锥爬坡

〔物理现象〕 锥体置于导轨的高端,锥体并不下滚。相反,锥体会从导轨的低端滚向高端。

〔演示装置〕 如图 1.3 所示,圆锥爬坡装置包括底座、导轨和双锥体。

〔注意事项〕 圆锥轴线应与导轨平面平行,以免圆锥上滚时脱离轨道,砸坏底座。



图 1.3 圆锥爬坡装置图

〔演示方法〕

1. 将锥体置于导轨的高端,锥体并不下滚;
2. 将锥体置于导轨的低端,松手后锥体向高端滚去;
3. 重复第二步操作,仔细观察锥体上滚的情况。

〔物理原理〕 能量最低原理指出:物体或系统的能量总是自然趋向最低状态。本实验中锥体与轨道的形状巧妙地配合起来给人以向上滚动的错觉,实际上在低端的两根导轨间距小,锥体停在此处重心被抬高了;相反,在高端两根导轨较为分开,锥体在此处下陷,重心反而降低了。实验现象仍然符合能量最低原理。

〔探索思考〕 能量最低原理中的能量是势能还是动能? 特别对刚体的平动和转动。试分析锥体置于轨道上,其轴线垂直于两轨道的角平分线的状态,锥体受到的力矩。试求出实现密度均匀的锥体能上滚时,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。

1. 1. 4 科里奥利力

〔物理现象〕 在转动的非惯性系中,运动的物体不但受到惯性离心力的作用,还可能受到另一个惯性力的作用,即科里奥利力。

〔演示装置〕 图 1.4 为科里奥利力演示装置,由电机、转盘、频闪仪、水桶和潜水泵组成。

〔注意事项〕

1. 电机电压调节适当,不要过高,以免造成仪器晃动剧烈;
2. 检查胶管是否连接好,以免脱落造成漏水;

3. 实验完毕,应断开潜水泵的电源。

[演示方法]

1. 接通同步频闪仪的电源,然后再接通调速电源,使转盘以恒定的角速度转动;

2. 当胶管中没有水流或水在胶管中静止时,在同步频闪仪的照明下,观察盘上的胶管,呈直线静止状态,胶管没有弯曲,此时科里奥利力为零。

3. 观察胶管中有水流通过时的情形:

① 当水流沿橡皮管流动的方向和速度一定时,打开调速开关,圆盘以一定的角速度转动,橡皮管内运动的水受到科里奥利力的作用,橡皮管弯曲;

② 利用调速开关,逐渐增大圆盘旋转的角速度,运动的水受到的科里奥利力增大,橡皮管弯曲也越来越大;

③ 利用反向开关,改变圆盘旋转方向,橡皮管弯曲方向与前者相反;

④ 关闭电源开关,断开所有电源。

[物理原理] 如果物体相对于转动参考系作相对运动,则在转动参考系中的观察者来看,物体除受一惯性离心力的作用外,还要受到另一惯性力的作用,这一惯性力称为科里奥利力,表示为

$$f'_k = 2m\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$$

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

科里奥利力的方向判断:设一圆盘以角速度 $\boldsymbol{\omega}$ 作逆时针方向转动时,圆盘角速度的方向可用右手螺旋法则判断,方向为拇指所指方向,如图 1.5(a)



图 1.4 科里奥利力演示仪

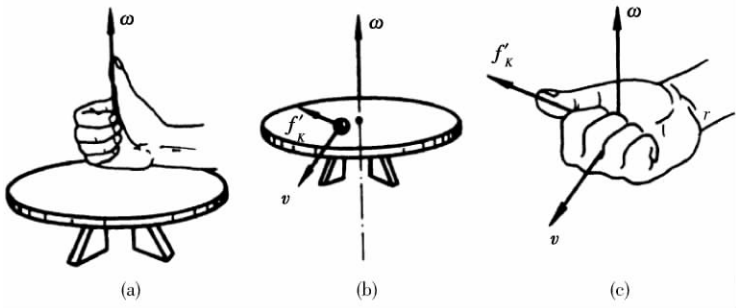


图 1.5 角速度和科里奥利力方向的判断

所示。如果在圆盘上有一小球以 v 的相对速度沿径向运动,则小球受到的科里奥利力 f'_K 与角速度 ω 、小球的相对速度 v 形成右手螺旋,如图 1.5(b)、(c) 所示。

[探索思考] 转动系统角速度矢量恒定(大小与方向不变),科里奥利力大小随水流相对圆盘的流速的关系。地球上的物体运动受到科里奥利力的作用吗? 地球上的河流对河岸的冲刷有什么特点? 南北半球有何不同? 可以以此判断东南西北吗?

1.1.5 傅科摆

[物理现象] 傅科摆的摆动平面在没有受到外力的作用下,相对静止在地面上的物体的位置发生偏转。

[演示装置] 实验装置如图 1.6 所示,仪器面板图如图 1.7 所示。

[注意事项]

1. 仪器底部四角有四个水平调节足,调节它使仪器水平;
2. 摆球振幅不宜过大,一般使摆底指针指到刻度盘上略大于“4”的位置。

[演示方法]

1. 调节四个水平调节足,使摆球指针正对水平基准盘的中心孔;
2. 打开电源开关和照明开关(图 1.7),打开玻璃门,用手轻轻推一下摆球,幅度使吊丝刚好碰到摆线上端的卡龙环,工作指示灯亮,此时电磁铁对摆球补能;

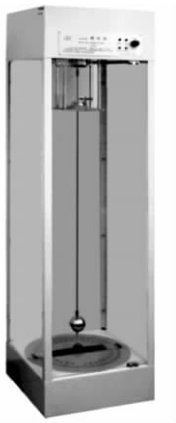


图 1.6 傅科摆

3. 当振幅的大小趋于平稳(约过 5 分钟),可调节振幅调节旋钮,使其减幅或增幅,使摆指针指到刻度盘上略大于“4”的位置;

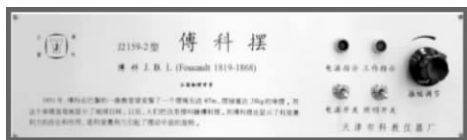


图 1.7 傅科摆面板图

4. 摆进入正常工作后,将水平基准盘上的标尺刻线正对摆球指针往复的轨迹,记录起始时间和标尺对刻度盘的起始角位置;

5. 待 2 小时后,观察并记录摆球的即时位置相对初始位置的偏转角度,求

出每小时的平均偏转角度 θ ;

6. 轻轻关闭玻璃门,关闭电源开关。

[物理原理]

1. 傅科摆是以自己的摆动平面偏转来显示地球自转的。以太空为参照系观察地球上的傅科摆,由于惯性作用,摆平面保持原振动方向,地球自转的结果使地面上的物体相对摆平面的位置发生偏转,而地球上的人习惯于以地球为参照物,就会感到摆动平面相对地球的位置发生相反的偏转。

2. 由于地球在自转,地球上的物体要受两种惯性力的作用,即惯性离心力和科里奥利力(见实验 1.1.4),在北半球安置的傅科摆,如图 1.8 所示,当摆球获得相对于地球的 $v_{\text{相对}}$ 时,将受到科里奥利力的作用,

这种力与 $v_{\text{相对}}$ 垂直,故摆球沿曲线运动,即摆动平面沿与地球自转相反的方向缓缓转动。据此在每次摆动时均偏右,致使单摆的摆动平面沿顺时针方向转动,如图 1.9 所示。在南半球安置的傅科摆,在每次摆动时均偏左,致使摆动平面沿逆时针方向转动,傅科摆在直观地显示地球自转的同时,也显示了科里奥利力的存在和作用。

[探索思考] 傅科摆的摆动平面的偏转方向和偏转角速度与傅科摆在地球上所处的地理位置有何关系?



图 1.8 傅科摆原理图

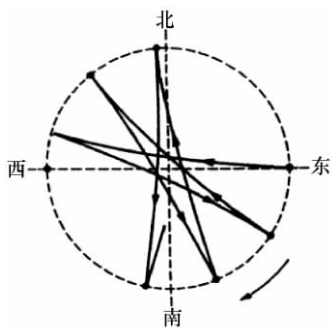


图 1.9 北半球傅科摆摆动平面的旋转

1.1.6 质心运动

[物理现象] 刚体受到大小和方向均相同而作用点不同的外力冲击后,其运动状态虽然不同,但其质心的运动相同。

[演示装置] 如图 1.10 所示,质心运动演示仪由杠杆打击片、卡扣和哑铃形刚体组成。

[注意事项]

1. 看到哑铃落下来时要将其接住,以免落地损坏;