

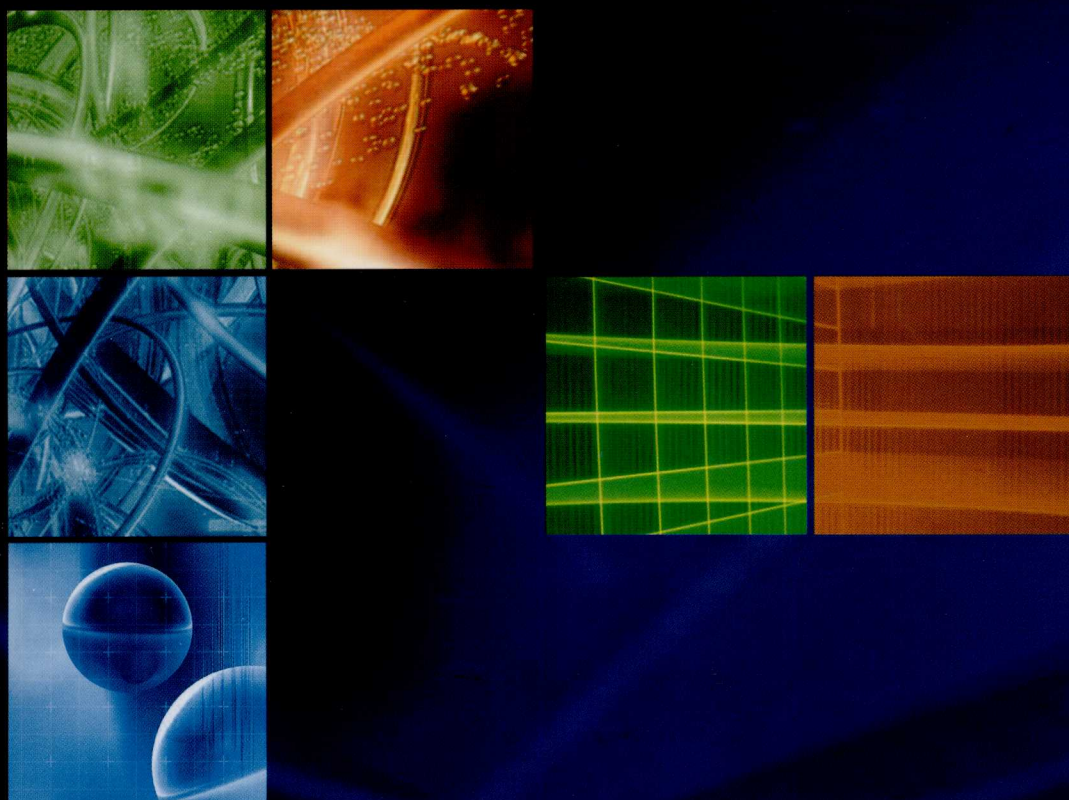


普通高等教育“十一五”规划教材

国家级物理实验教学示范中心系列教材

物理演示实验教程

沈黄晋★主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材
国家级物理实验教学示范中心系列教材

物理演示实验教程

沈黄晋 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家级物理实验教学示范中心系列教材之一,该系列教材是在总结武汉大学物理实验教学示范中心近十年实验教学改革成果的基础上编写而成的.本书分为力学、热学、电磁学和光学四个部分,每个部分又分为若干个类别,共 112 个演示实验.书中的演示实验内容不仅可以加深对物理知识的理解,同时还具有很强的趣味性和科普性.

本书可作为高等学校大学物理演示实验课程的教材或参考书,也可供社会读者阅读.

图书在版编目(CIP)数据

物理演示实验教程/沈黄晋主编. —北京:科学出版社,2009
普通高等教育“十一五”规划教材·国家级物理实验教学示范中心系列教材
ISBN 978-7-03-025319-4

I. 物… II. 沈… III. 物理学-实验-高等学校-教材 IV. O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 147200 号

责任编辑:吕 盛 窦京涛 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 8 月第一次印刷 印张:12 3/4

印数:1—3 500 字数:277 000

定价:22.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

传统意义上的物理演示实验是指在物理课堂上,密切结合课堂讲授内容,由教师操作给学生看的实验.这些实验装置简单、主题突出、操作简单、效果直观、生动形象、富有启发性,在帮助学生理解、掌握相关物理概念,提高学习兴趣方面有着十分重要的作用.

近年来,随着技术进步,演示手段、演示仪器也在不断创新,演示内容早已超出了传统的课堂教学内容,新开发的演示仪器一般都有很强的时代性、趣味性和科普性,为了满足通识教育和科普教育的需要,目前越来越多的高校将物理演示实验室建成了开放实验室,有的已经接近于小型科技展览馆的规模,并面向所有理工科和文科类大学生开设了“物理演示实验”这门公共选修课.正是在这样的环境下,我们根据多年来实验教学改革的成果和经验,编写了这本《物理演示实验教程》.

本教程共分力学、热学、电磁学和光学四个部分,每个部分又分为若干个类别,共计112个演示实验内容.每个实验均按照“实验目的”、“实验装置”、“实验原理”、“实验步骤与演示效果”、“注意事项”和“思考题”组织编写.此外,本教程还具有如下几个显著特点:

1. 实验原理部分力求通俗易懂,适合通识教育和科普教育

根据多年来的教学经验,选修“物理演示实验”课程的学生大多是大学低年级学生以及文科类学生,许多学生只有高中物理基础,因此作者在编写时尽量避免复杂、深奥的数学公式,力求使用通俗易懂的科普语言和一些简单必要的物理定义式解释实验原理.这样既能使理工类的学生能加深对相关物理概念的理解,激发好奇心,提高学习兴趣,又能对文科类学生起科普教育的作用.

2. 实验内容按类划分,便于分类教学

本教程共分四个部分,每一部分又分为若干个类别.在同一类别的实验中,我们将实验原理、演示主题基本相同的几个实验集中在一起,例如实验1.15~实验1.18都是受迫振动与共振类演示实验,实验1.25~实验1.30都是驻波类演示实验,其中第一个实验的实验原理通常写得比较具体详细,特别适合学生阅读,即使是对于没有相关物理基础的学生,也能通过阅读本教程,理解相关概念和实验原理.

3. 演示内容和效果具有很强的时代性、趣味性和科普性

在传统演示项目的基础上,还引进了许多具有科普展览性质的新的演示仪器和演示

方法,增加了本教程的时代性、趣味性和科普性。

本教程主要由沈黄晋编写。在本书编写过程中得到了武汉大学物理科学与技术学院和物理实验中心领导的关心和大力支持,于国萍教授编写了实验 4.22~实验 4.24,此外刘永跃和几位先后在实验室兼职的高年级学生王峰、曹康、安哲、陈涛对本书的编写给予了一定的帮助,在此一并表示感谢。最后还要感谢上海上大电子设备有限公司孙玉龙经理对本书编写给予的特别帮助。

由于编写时间较紧,加之作者水平有限,书中内容难免会有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月于武汉珞珈山

目 录

一 力学部分

机械能守恒与转换类

实验 1.1 锥体上滚	1
实验 1.2 滚摆(麦克斯韦滚)	2
实验 1.3 七联球碰撞演示	4
实验 1.4 过山车	5

角速度矢量合成类

实验 1.5 角速度矢量合成演示仪	7
实验 1.6 (球形刚体的)角速度矢量合成演示实验	8

角动量定理及角动量守恒类

实验 1.7 茹科夫斯基转椅演示角动量守恒	9
实验 1.8 悬挂式角动量守恒演示实验	11
实验 1.9 大型回转定向仪	12
实验 1.10 角动量合成演示实验	13
实验 1.11 陀螺的进动	14
实验 1.12 车轮的进动	16

刚体的平面平行运动及转动定律类

实验 1.13 刚体的平面平行运动(斜面圆柱式)	17
实验 1.14 转动定理演示仪	19

受迫振动与共振类

实验 1.15 竖直方向弹簧振子的受迫振动与共振演示	20
实验 1.16 多谐单摆的受迫振动与共振演示	23
实验 1.17 弹簧片的受迫振动与共振演示	24
实验 1.18 共振小娃演示实验	25

振动合成类

实验 1.19 简谐振动的合成演示	26
实验 1.20 音叉	30
实验 1.21 激光李萨如图形演示实验	31

波动类

实验 1.22	弹簧纵波演示仪	33
实验 1.23	水波盘演示仪	34
实验 1.24	弦驻波和环形驻波演示实验	36
实验 1.25	弹簧纵驻波演示实验	38
实验 1.26	液体驻波演示实验(昆特管)	39
实验 1.27	声悬浮演示实验	41
实验 1.28	鱼洗	43

流体力学类

实验 1.29	伯努利悬浮器演示实验	44
实验 1.30	伯努利定律演示实验	46
实验 1.31	气体流速与压强的关系演示实验	47
实验 1.32	流体流线演示实验	48
实验 1.33	空气的黏滞现象	49

其他

实验 1.34	傅科摆	51
实验 1.35	转动液体中的压强分布	53
实验 1.36	离心力演示	55
实验 1.37	大型混沌摆	56

二 热学部分

实验 2.1	气体动理论的模拟演示	58
实验 2.2	气体速率分布模拟演示实验	61
实验 2.3	热声制冷效应演示实验	63

三 电磁学部分**静电类**

实验 3.1	静电跳球与静电摆球	67
实验 3.2	几种常见带电体的电场线	69
实验 3.3	导体表面的场强大小与曲率的关系	72
实验 3.4	尖端放电系列实验	73
实验 3.5	避雷针	75
实验 3.6	静电除尘	76
实验 3.7	“鸟笼”演示静电屏蔽现象	77

实验 3.8 滴水自激感应起电	79
实验 3.9 高压带电作业	80
实验 3.10 雅各布天梯	82
实验 3.11 辉光球	83
实验 3.12 电介质的极化	84
手触电池与温差电现象类	
实验 3.13 手触电池	86
实验 3.14 温差电流演示实验	87
实验 3.15 温差发电演示实验	88
实验 3.16 帕尔贴效应演示实验	90
实验 3.17 温差电磁铁演示仪	92
电路类	
实验 3.18 基尔霍夫定律演示实验	93
实验 3.19 RC 电路时间常数演示实验	96
磁力类	
实验 3.20 磁力演示实验	98
实验 3.21 磁力悬球演示实验	99
实验 3.22 安培力演示实验	100
实验 3.23 巴比轮演示仪演示磁力矩	101
磁介质类	
实验 3.24 顺磁质磁化的模拟演示	102
实验 3.25 巴克豪森效应演示实验	103
实验 3.26 热磁轮	105
实验 3.27 光点反射磁致伸缩演示实验	106
电磁感应类	
实验 3.28 电磁感应演示实验	108
实验 3.29 楞次定律及磁悬浮演示实验	109
实验 3.30 跳环式楞次定律演示仪	110
实验 3.31 涡电流演示实验	111
实验 3.32 互感音频演示仪	112
实验 3.33 电磁驱动	113
实验 3.34 单相旋转磁场演示实验	114
实验 3.35 旋转磁场与感应电机演示实验	115
实验 3.36 涡流热效应	116

实验 3.37 涡流阻尼摆	117
其他	
实验 3.38 趋肤效应演示实验	119
实验 3.39 电磁波的发射与接收演示实验	120
实验 3.40 亥姆霍兹线圈磁场演示实验	122

四 光学部分

几何光学类

实验 4.1 薄透镜的成像规律	125
实验 4.2 薄透镜焦距的快速测定	127
实验 4.3 透镜像差系列实验	129
实验 4.4 弯曲的激光束	134
实验 4.5 光学幻影	136
实验 4.6 窥视无穷——反射多像簇的动态变幻	137

光的颜色

实验 4.7 光的色散现象	138
实验 4.8 三基色合成演示实验	139

光通信

实验 4.9 光通信演示实验	140
----------------------	-----

光的干涉类

实验 4.10 四个双光速干涉的演示实验——杨氏双缝、菲涅耳双面镜、双棱镜、劳埃德镜	144
实验 4.11 薄膜干涉实验 1——薄云母片的等倾干涉	146
实验 4.12 薄膜干涉实验 2——两平晶间空气膜的等厚和等倾干涉(激光照射)	148
实验 4.13 薄膜干涉实验 3——牛顿环(激光束照射,反射到屏幕)	150
实验 4.14 薄膜干涉实验 4——肥皂膜的等厚干涉	151
实验 4.15 细玻璃管的干涉	152
实验 4.16 用迈克耳孙干涉仪演示等倾、等厚干涉条纹	153

光的衍射类

实验 4.17 光的菲涅耳衍射实验——圆屏衍射、圆孔衍射、针尖衍射、十字孔衍射、直边衍射	155
实验 4.18 夫琅禾费衍射 1——单缝、单丝、双缝、多缝、圆孔、圆屏	159
实验 4.19 夫琅禾费衍射 2——一维光栅、正弦光栅、二维正交光栅	162

实验 4.20	菲涅耳衍射与夫琅禾费衍射的区别	164
实验 4.21	波带片	166
实验 4.22	全息照相	168
实验 4.23	阿贝成像原理与空间滤波	172
实验 4.24	θ 调制演示实验	176
光的偏振类		
实验 4.25	偏振仪上的起偏与检偏实验	177
实验 4.26	反射与折射的偏振实验——布儒斯特定律	179
实验 4.27	晶体的双折射及双折射引起的偏振现象	181
实验 4.28	波片圆、椭圆偏振光的产生与检验	182
实验 4.29	显色偏振	185
实验 4.30	会聚偏振光的干涉	187
实验 4.31	旋光现象及旋光色散	189
其他		
实验 4.32	激光合成图案演示实验	190

力学部分

机械能守恒与转换类

实验 1.1 锥体上滚

【实验目的】

(1) 通过观察与思考锥体沿倾斜轨道上滚的现象,使学生加深了解在重力场中,物体总是会降低重心,趋于稳定的运动规律.

(2) 使学生了解物体都有从势能高的位置向势能低的位置运动的趋势,在这个过程中重力势能将转换为动能,并且在转换过程中机械能守恒.

【实验装置】

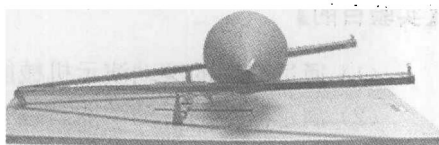


图 1.1.1 锥体上滚演示实验装置

图 1.1.1 是该实验装置的照片. 图 1.1.2(a)、(b)是该实验装置结构的平视图和俯视图.

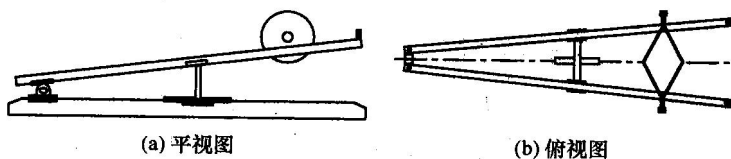


图 1.1.2 实验装置结构的平视图和俯视图

【实验原理】

在重力场中可以自由运动的物体,其平衡位置是其重力势能极小的位置,重力的作用迫使物体向重力势能减小的方向运动,这就是本实验的基本原理. 本实验巧妙地利用了双锥体的形状,把双锥体上的支撑点对锥体质心的影响,以及锥体在倾斜双轨道上滚动时轨道高度对质心的影响结合起来. 适当调节两轨道间的夹角 γ , 以及轨道的倾角 α , 可以证明,对于密度均匀的双锥体,当 γ, α 满足如下关系:

$$\tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{\gamma}{2} > \tan \alpha$$

式中 β 是双锥体的锥顶角, 双锥体在轨道高端时的质心位置比在轨道低端时的质心位置更低, 于是双锥体在重力的作用下, 就会从轨道较低的一端(质心位置较高)自动地滚向轨道较高的一端(质心位置较低)。

【实验步骤】

(1) 通过可调支架适当调节轨道的倾角 α 和两轨道的夹角 γ 的大小使之满足上述关系。

(2) 将双锥体置于轨道低处, 松手后双锥体将自动沿轨道从低处向高处滚动。

(3) 将双锥体置于轨道高处, 松手后双锥体并不沿轨道向下滚动。

【思考题】

试证明: 对于密度均匀的双锥体上滚时, γ, α, β 满足如下关系:

$$\tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{\gamma}{2} > \tan \alpha$$

实验 1.2 滚摆(麦克斯韦滚)

【实验目的】

(1) 通过滚摆的滚动演示机械能守恒。

(2) 演示滚摆的平动动能、转动动能之和与重力势能之间的转化。

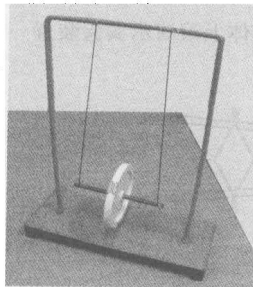


图 1.2.1 滚摆实验装置

【实验装置】

滚摆的实验装置如图 1.2.1 所示。

【实验原理】

重力作用下滚摆的运动是滚摆质心的平动与滚摆绕质心转动的合运动。如果不计空气阻力, 滚摆在运动过程中机械能守恒。在任一时刻, 滚摆的总动能等于质心的平动动能和绕质心转动的动能之和, 即

$$E_k = \frac{1}{2}mv_c^2 + \frac{1}{2}J\omega^2$$

式中 J 是滚摆对通过质心且与摆平面垂直的转轴的转动惯量。

本实验中, 滚摆的受力情况如图 1.2.2 所示, 图中 r 是轴的半径, T 是绳对滚摆的拉力, mg 是滚摆受到的重力。由质心运动定律和转动定律可得

$$\begin{cases} mg - T = ma_c \\ Tr = J\beta \\ r\beta = a_c \end{cases}$$

式中 a_c 为质心的加速度, β 为绕质心转动的角加速度. 由此可解出

$$a_c = \frac{mgr^2}{mr^2 + J}, \quad T = \frac{mgJ}{mr^2 + J}, \quad \beta = \frac{mgr}{mr^2 + J}$$

若滚摆从静止开始下降, 经过时间 t , 其下降的高度为

$$h = \frac{1}{2}a_c t^2 = \frac{mgr^2 t^2}{2(mr^2 + J)}$$

质心的平动动能为

$$E_{kp} = \frac{1}{2}mv_c^2 = \frac{1}{2}m(a_c t)^2 = \frac{m^3 g^2 r^4 t^2}{2(mr^2 + J)^2}$$

绕质心的转动动能为

$$E_{kz} = \frac{1}{2}J\omega^2 = \frac{1}{2}J(\beta t)^2 = \frac{m^2 g^2 r^2 t^2 J}{2(mr^2 + J)^2}$$

所以

$$E_{kp} + E_{kz} = \frac{m^3 g^2 r^4 t^2}{2(mr^2 + J)^2} + \frac{m^2 g^2 r^2 t^2 J}{2(mr^2 + J)^2} = \frac{m^2 g^2 r^2 t^2}{2(mr^2 + J)} = mgh$$

上式表明, 滚摆在下降过程中, 减少的重力势能转变成了质心的平动动能与绕质心的转动动能之和, 即滚摆在运动中机械能守恒.

另外, 实验中滚摆转轴的半径 r 远小于摆轮的半径 R , 且摆轮的质量主要分布于摆轮的边缘, 所以必有 $J \gg mr^2$, 从而有 $E_{kp} \ll E_{kz}$, 即滚摆质心的平动动能和速度都很小. 所以当滚摆下降到最低点时, 摆轮的转动动能达到最大值, 然后由于转动的惯性, 滚摆开始反向卷绕挂绳, 使转动动能转化为重力势能, 轮的转速逐渐减小, 质心位置升高, 重力势能增大. 即到了最低点以后, 滚摆的转动动能反过来转换为重力势能, 直至到达最高位置. 然后滚摆在重力作用下再次下降……如此多次反复.

【实验步骤及演示现象】

- (1) 调节滚摆两侧悬线的长度, 使两侧悬线的长度相等.
- (2) 将两侧悬线均匀地绕在滚摆的转轴上, 当滚摆升高到最高位置时, 放手使其平稳下落.

实验发现: 在重力及拉力的作用下, 滚摆的质心位置逐渐下降, 滚摆绕转轴的转速越来越大, 即摆的重力势能转化为摆轮的转动动能和质心的平动动能. 当滚摆下降到最低点时, 轮的转速最大, 转动动能最大; 然后摆轮反向卷绕挂绳, 使滚摆逐渐上升, 此过程中, 转动动能转化为重力势能, 轮的转速减小, 位置升高. 如此多次反复.

【注意事项】

要尽量使滚摆平稳地上下运动, 不能有前后摆动或扭动现象.

【思考题】

- (1) 试分析滚摆下落时平动速度和转动角速度与位置高度的关系.

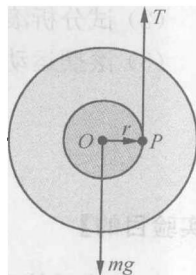


图 1.2.2 滚摆的受力图

- (2) 试分析滚摆的转轴半径和转动惯量对滚摆运动的影响。
 (3) 滚摆运动时,悬线的拉力是否做功?为什么?

实验 1.3 七联球碰撞演示

【实验目的】

通过演示等质量钢球之间的对心碰撞过程,加深对弹性碰撞过程中动量守恒和机械能守恒的理解。

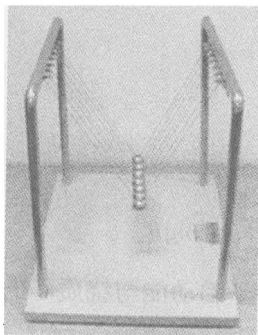


图 1.3.1 七联球碰撞演示仪

【实验装置】

七联球碰撞演示仪如图 1.3.1 所示。

【实验原理】

碰撞是一种常见的物理现象。最简单、最基本的碰撞是两个物体之间的对心碰撞,即两个物体在碰撞前后的运动方向在同一直线上。假设在一个光滑的水平面上,两物体的质量分别为 m_1 、 m_2 ,碰撞前后两物体的速度分别为 v_{10} 、 v_{20} 和 v_1 、 v_2 ,并且速度的方向在同一直线上。若把这两个物体视为一个系统,则由碰撞前后系统的动量守恒,得

$$m_1 v_{10} + m_2 v_{20} = m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (1.3.1)$$

此外,实验表明:对于材料给定的两个物体,它们碰撞后的分离速度与碰撞前的接近速度之比为常量,即

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}} \quad (1.3.2)$$

比例系数 e 称为恢复系数。 $e=1$,称为完全弹性碰撞; $e=0$,称为完全非弹性碰撞; $0 < e < 1$,称为一般的非弹性碰撞。对于完全弹性碰撞 $e=1$,上式变为

$$v_{10} - v_{20} = v_2 - v_1 \quad (1.3.3)$$

由式(1.3.1)和式(1.3.3)可以证明

$$\frac{1}{2} m_1 v_{10}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{20}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (1.3.4)$$

式(1.3.3)和式(1.3.4)表明,对于完全弹性碰撞,碰撞前两物体的接近速度等于碰撞后两物体的分离速度,并且碰撞前后两物体的总动能不变。

由式(1.3.1)和式(1.3.3)还可以求得

$$v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{10} + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_{20} \quad (1.3.5)$$

$$v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{10} + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_{20} \quad (1.3.6)$$

下面讨论几种特殊情况:

(1) 若 $m_1 = m_2$, 则 $v_1 = v_{20}, v_2 = v_{10}$, 即碰撞后两物体交换速度.

(2) 若 $m_1 \ll m_2$ 且 $v_{20} = 0$, 则 $v_1 \approx -v_{10}, v_2 \approx 0$. 这相当于乒乓球去碰静止的铅球时, 乒乓球以原速率弹回, 而铅球静止不动.

(3) 若 $m_1 \gg m_2$ 且 $v_{20} = 0$, 则 $v_1 \approx v_{10}, v_2 \approx 2v_{10}$. 这相当于铅球去碰静止的乒乓球时, 铅球仍以原速率运动, 而乒乓球以 2 倍于铅球的速率运动.

【实验步骤】

(1) 将仪器放置在水平桌面上, 调整固定摆球悬线的螺丝, 使悬挂摆球的两根悬线长度相等, 且所有摆球的球心都处于同一直线上.

(2) 拉动左侧一个球使其偏离竖直方向一个角度, 松手使其与余球碰撞, 观察并定性记录碰撞过程.

(3) 仿照过程(2), 一次拉动两球、三球……松手后使其与余球相碰, 观察并定性记录碰撞过程.

【注意事项】

(1) 不要用力拉球, 以免悬线被拉断.

(2) 搬动仪器时要轻拿轻放, 以免震断悬线.

(3) 仪器调整时, 要尽量使摆球的球心处于同一直线上, 否则达不到预期效果.

【思考题】

(1) 试由式(1.3.1)和式(1.3.3), 证明式(1.3.4), 以加深对完全弹性碰撞过程中总动能守恒的理解.

(2) 拉起两球与余球碰撞, 将使另外一侧的两球同时弹起, 试用逐球分析的方法, 解释这一结果.

实验 1.4 过山车

【实验目的】

通过模拟过山车中小球的飞速运动, 深入理解物体在竖直平面内作圆周运动所必须满足的条件, 以及在此过程中机械能的转化规律.

【实验装置】

模拟过山车实验装置如图 1.4.1 所示.

【实验原理】

质量为 m 的匀质球形刚体在双轨道上作纯滚动(即无滑动的滚动)时, 如图 1.4.2 所示, 若球



图 1.4.1 过山车

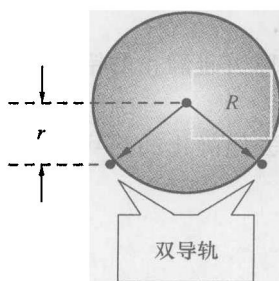


图 1.4.2 圆球半径
与滚动半径

的半径为 R , 纯滚动的半径为 r , 则质心的速度 v_c 与滚动的角速度 ω 之间满足: $v_c = \omega r$. 于是刚体质心的平动动能为

$$E_{kp} = \frac{1}{2} m v_c^2 \quad (1.4.1)$$

刚体绕质心的转动动能为

$$E_{kz} = \frac{1}{2} J \omega^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5} m R^2 \right) \left(\frac{v_c}{r} \right)^2 = \frac{1}{5} m v_c^2 \left(\frac{R}{r} \right)^2 \quad (1.4.2)$$

式中 $J = \frac{2}{5} m R^2$ 是匀质钢球绕其直径的转动惯量. 所以两者之比为

$$\frac{E_{kp}}{E_{kz}} = \frac{5}{2} \left(\frac{R}{r} \right)^2 \quad (1.4.3)$$

当此球体在竖直平面内半径为 R_x 的圆形双轨道上作圆周运动时, 为了使小球不从圆形轨道上摔下来, 在圆形轨道的最高点 (如图 1.4.3 所示), 小球质心的速度必须满足

$$m \frac{v_c^2}{R_x - r} \geq mg \quad (1.4.4a)$$

当圆形轨道半径 $R_x \gg r$ 时, 上式可简化为

$$v_c \geq \sqrt{g R_x} \quad (1.4.4b)$$

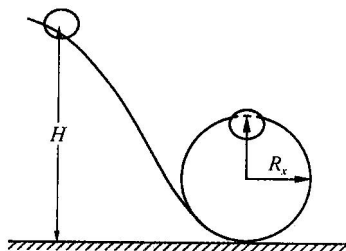


图 1.4.3 小球的飞车运动

假设小球从高度为 H 的光滑双轨道的顶端由静止开始滚下, 可以完成在半径为 R_x 的圆形轨道上的飞车动作 (即不从圆形轨道上摔下来), 如图 1.4.3 所示, 由机械能守恒, 可得

$$mgH = mg2R_x + E_{kp} + E_{kz}$$

把式 (1.4.1) 和式 (1.4.2) 代入上式, 得

$$H = 2R_x + \left(\frac{1}{2g} + \frac{1}{5g} \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right) v_c^2$$

再利用不等式 (1.4.4b), 得

$$H \geq 2R_x + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{5} \left(\frac{R}{r} \right)^2 \right) R_x$$

若两平行的双导轨对球心的夹角为 90° (如图 1.4.2 所示), 则 $R = \sqrt{2}r$. 代入上式, 得

$$H \geq 2.9R_x \quad (1.4.5)$$

式 (1.4.5) 表明, 在不考虑摩擦阻力的条件下, 要使匀质球形刚体在圆形双轨道上完成飞车动作, 其起始高度必须大于 $2.9R_x$. 若考虑到轨道的摩擦作用, 实际的起始高度应大于 $3.5R_x$.

【实验步骤】

- (1) 把匀质木心球 (或塑料球) 放在轨道顶端, 让它从静止开始滚下, 观察球的运动.
- (2) 把球放在比轨道顶端稍低一点的位置, 让它从静止开始滚下, 观察球的运动.

【注意事项】

轨道的起始高度一般以圆形轨道半径的 3~3.5 倍比较好. 起始高度太高, 将使小球到达终点时因速度太大而冲出去, 容易将球摔碎.

【思考题】

若圆形双轨道的半径不变, 用半径相同的空心球代替实心球, 为使空心球也能完成飞车运动, 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?



角速度矢量合成类



实验 1.5 角速度矢量合成演示仪

【实验目的】

角速度的矢量性是物理教学中一个难点, 本实验通过相互垂直的两个转动, 形象生动地演示二个角速度矢量的合成, 帮助学生加深对角速度矢量性的理解.

【实验装置】

角速度矢量合成演示仪如图 1.5.1 所示. 该演示仪由上海上大电子有限公司生产.

【实验原理】

角速度是描述刚体转动状态的一个物理量, 它是一个矢量. 角速度的大小表示刚体转动速度的快慢, 方向由右手螺旋法则确定, 如图 1.5.2 所示, 即若将右手四指的自然弯曲方向作为刚体的转动方向, 则大拇指的指向就是角速度的方向.

如果一个刚体同时参与两个不同方向的转动, 一个方向转动的角速度矢量是 ω_1 , 另一个方向转动的角速度矢量是 ω_2 , 则刚体合成转动的角速度矢量 ω 等于两个角速度矢量 ω_1 和 ω_2 的矢量和, 即 $\omega = \omega_1 + \omega_2$, 并遵守矢量的平行四边形合成法则.

本演示仪利用串接在转轮上的一串小彩球在同时参与两个互相垂直方向的转动时, 其转动平面的变化来演示角速度的合成, 而合成角速度的方向一定垂直于小彩球的转动平面, 并与该转动平面成右手螺旋关系(如图 1.5.2 所示).

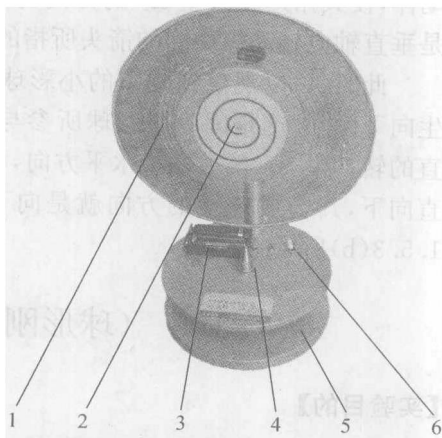


图 1.5.1 角速度矢量合成演示仪

1. 多种颜色相串的小彩球; 2. 水平轴向的转动体, 它由电机驱动后带动成串小圆珠转动;
3. 5 号电池盒; 4. 垂直轴向的转动体; 5. 仪器底座; 6. 电源开关