

中国海洋大学教材建设基金资助

师玉荣 马 君 马丽珍 编著

探究物理现象 ——演示实验教程



清华大学出版社

师玉荣 马 君 马丽珍 编著

探究物理现象 ——演示实验教程

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书的实验分为力学、振动和波、热学、电磁学、光学、高新技术六大部分,共 86 个实验项目。每个实验主要包含实验目的、实验装置、实验步骤及现象、实验现象探究、拓展探究与思考、实验原理提示六个版块。其中实验现象探究是根据实验现象提出的探究问题,拓展探究与思考是更深层次的问题或与生活相关的一些现象的联系,实验原理是对探究问题、拓展探究与思考的问题的综合性的解答。本书力求通俗易懂,又能对读者有很好的启发作用。

本书可以作为高等院校大学物理演示实验和文科物理演示实验的教材,也可以作为本科、大中专、职业技术类学校和中学物理教学的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

探究物理现象:演示实验教程/师玉荣,马君,马丽珍编著.--北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-40744-7

I. ①探… II. ①师… ②马… ③马… III. ①物理学—实验—教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 162087 号

责任编辑:朱红莲 赵从棉

封面设计:张京京

责任校对:赵丽敏

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:11.5

字 数:274 千字

版 次:2015 年 9 月第 1 版

印 次:2015 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00 元

产品编号:065150-01

前言

物理演示实验具有操作简单、实验现象明显、趣味性强的特点,在物理教学中具有重要的作用。学生可能对充满公式、定理的理论头痛不已,但是总能被直观、有趣的演示实验所吸引,通过有趣、直观、形象的演示实验现象可以让学生更容易理解所学的理论知识,从而增加学习物理的兴趣。

近年来中国海洋大学物理系的物理演示实验室规模不断扩大,我们的演示实验室定期面向全校学生开放,并依托物理演示实验室开设“文科物理趣味实验”(后改为“探究物理实验现象的奥秘”)课程,也经常接待来自全国各地的中学生。在教学过程中,我们发现很多学生对演示实验只看表面热闹,走马观花,有的学生对实验现象很茫然,不知该学什么,不能深入探究实验深层次的东西;有的文科生想通过实验学习物理知识,但是面对演示实验现象无从下手。针对这些问题,我们不断尝试探究式的教学方式,引导学生探究实验现象,引导学生提出探究课题,讨论、研究、验证提出的课题,实践证明学生兴趣盎然。探究式的教学激发了学生探究问题的兴趣,激发了学生的发散思维,从而提升他们的创新思维能力。在实践中,我们和学生一样受益匪浅,我们不断积累经验,编写了这本书,希望能和读者分享我们的收获。

本书的突出特点是每个实验根据实验现象层层深入提出了探究问题,探究问题一方面可以启发学生如何学习,还可以抛砖引玉启发如何提出探究问题。每个实验设计了拓展探究问题,以激发学生更深层次的思考探索。引导学生把物理知识和日常生活中的问题、自然现象、一些高新技术联系起来。

本书编写主要分工:师玉荣主要编写了力学、热学和高新技术部分,并负责本书的策划,马君主要编写了光学部分并参与了本书的策划和全书的审阅工作,马丽珍主要编写了电磁学部分。本书得到中国海洋大学教务处 2014 年度教材建设基金资助,衷心感谢学校和教务处的大力支持;本书编写过程中,得到了中国海洋大学物理系领导的支持和许多老师的大力帮助,于佳老师为本书所用到的演示实验仪器拍摄照片并处理,王术宽老师审阅了本书的部分内容并提出宝贵意见,对他们的帮助表示衷心的感谢。

本书在整理过程中,物理系很多教授大学物理的教师对本书很感兴趣,把一些实验引入到课堂教学中,并用所涉及的探究问题启发引导学生学习,效果很

好。所以本书可以为本科院校物理教师提供教学素材,帮助教师实现更有吸引力、更能激发学生创新思维能力的教学。

本书可以作为高等院校大学物理演示实验和文科物理演示实验的教材,也可以作为大中专、职业技术类学校和中学物理教学的参考书。

由于编者水平所限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 8 月

目 录

第 1 章 力学实验	1
实验 1.1 逆风行舟	1
实验 1.2 锥体上滚	3
实验 1.3 瑞林球	5
实验 1.4 弹性碰撞球	7
实验 1.5 伯努利悬浮球	9
实验 1.6 流速与压强	11
实验 1.7 离心力	13
实验 1.8 转盘式科里奥利力	15
实验 1.9 傅科摆	17
实验 1.10 角速度合成	19
实验 1.11 转动惯量	21
实验 1.12 转动定律	23
实验 1.13 刚体的平面运动	25
实验 1.14 滚摆	27
实验 1.15 螺旋飞球	29
实验 1.16 角动量守恒	31
实验 1.17 进动仪	33
实验 1.18 啄木鸟	36
实验 1.19 最速降线	37
第 2 章 振动和波实验	40
实验 2.1 简谐运动与圆周运动	40
实验 2.2 激光演示李萨如图形	42
实验 2.3 共振	44
实验 2.4 共振摆	46
实验 2.5 水波盘	48
实验 2.6 弦驻波	50
实验 2.7 弹簧纵驻波	53

实验 2.8 声聚焦	54
实验 2.9 声波多普勒效应	56
实验 2.10 鱼洗	58
第 3 章 热学实验	60
实验 3.1 投影式伽尔顿板	60
实验 3.2 麦克斯韦速率分布	62
实验 3.3 气体分子热运动	64
实验 3.4 热力学第二定律	66
实验 3.5 帕尔贴效应	68
实验 3.6 温差电磁铁	70
实验 3.7 热效率	72
实验 3.8 记忆合金水车	74
实验 3.9 热磁轮	76
实验 3.10 饮水鸟	78
第 4 章 电磁学实验	80
实验 4.1 静电感应盘	80
实验 4.2 尖端放电	82
实验 4.3 避雷针放电原理	84
实验 4.4 静电除尘	86
实验 4.5 电介质的极化模拟	88
实验 4.6 压电效应	90
实验 4.7 手触式蓄电池	92
实验 4.8 亥姆霍兹线圈	94
实验 4.9 磁聚焦现象	96
实验 4.10 磁滞回线	98
实验 4.11 巴克豪森效应	100
实验 4.12 等厚干涉磁致伸缩	102
实验 4.13 光点反射式磁致伸缩	104
实验 4.14 电磁感应	106
实验 4.15 涡流热效应	108
实验 4.16 阻尼摆与法拉第管	110
实验 4.17 电磁驱动	112
实验 4.18 磁力手电筒	113
实验 4.19 互感	115
实验 4.20 三相旋转磁场	117
实验 4.21 电磁波的发射、接收与趋肤效应	119
第 5 章 光学实验	121
实验 5.1 辉光球	121
实验 5.2 菲涅耳透镜	124

实验 5.3	海市蜃楼	126
实验 5.4	光学幻影	128
实验 5.5	光纤传像束	130
实验 5.6	光纤通信	132
实验 5.7	大气散射	134
实验 5.8	动态多缝衍射图样	136
实验 5.9	光栅镜	138
实验 5.10	反射分辨本领	140
实验 5.11	偏振光	142
实验 5.12	帘式肥皂膜	144
实验 5.13	散射光干涉	146
实验 5.14	偏振光干涉	148
实验 5.15	会聚偏振光干涉	150
实验 5.16	光压风车	152
实验 5.17	太阳能风车	154
第 6 章	高新技术实验	155
实验 6.1	大型混沌摆	155
实验 6.2	光学分形	157
实验 6.3	磁悬浮地球	159
实验 6.4	雅各布天梯	161
实验 6.5	神舟飞船	163
实验 6.6	红外接收	165
实验 6.7	西汉透光镜	167
实验 6.8	视错觉	169
实验 6.9	普氏摆	171

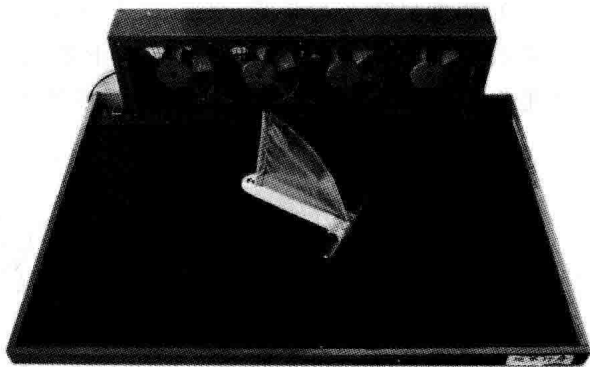
实验 1.1 逆风行舟

实验目的

1. 探究小船逆风运动的原理,加深对力的概念以及动量定理的理解。
2. 探究“船工能行八面风”的力学解释。

实验装置

小帆船模型
一排风扇
光滑水平面



实验步骤及现象

1. 打开风扇的电源开关,把小船放置于风力均匀处。适当调节船帆帆形和前进方向,使船前进方向与风向约为 40° ; 放开小船,即可看见小船沿侧逆风的方向行进。
2. 改变船的位置,体会船走“Z”形路线时可实现逆风行舟。
3. 任意改变船运动的方向,调节帆的角度,观察船的运动,体会“船工能行八面风”。

实验现象探究

1. 帆船为什么能逆风行驶？试用受力分析和牛顿第二定律解释实验现象。
2. 你能用动量定理解释实验现象吗？牛顿第二定律与动量定理是什么关系？

拓展探究与思考

1. 你了解帆船航行的一些常识吗？
2. 你还能利用该实验验证帆船行驶的其他规律吗？

实验原理提示

船逆风而行是因为风对船帆的作用力，风与帆的作用过程可用质点的动量定理解释。

动量定理是牛顿第二定律的积分形式。以风为研究对象，选质量为 m 的空气（可视为质点），设风受到帆给它的平均作用力为 $\mathbf{F}'$ ， Δt 为空气从接触帆到离开帆所经历的时间，其与帆作用的过程根据动量定理满足：

$$\mathbf{F}' \Delta t = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p} - \mathbf{p}_0$$

如图 1.1.1 所示，风的初动量 $\mathbf{p}_0$ 方向就是风向，由于与帆的相互作用末动量 $\mathbf{p}$ 的方向变为帆末端的切向，设风速没有明显地改变，则风的受力方向即为风与帆作用过程动量增量 $\Delta \mathbf{p}$ 的方向。根据动量定理可知，风在与帆的作用过程中所受平均作用力 $\mathbf{F}'$ 的方向与 $\Delta \mathbf{p}$ 方向相同。再根据牛顿第三定律，可分析出帆（即船）的受力 $\mathbf{F}$ 的方向。图 1.1.1 中， $\mathbf{F}$ 为帆所受风给它的力，这个力有一个指向船头的分力 $\mathbf{F}_2$ ，船就可以逆风前进了；另外一个分力 $\mathbf{F}_1$ ，利用稳向板或龙骨就能抵消风力在帆船正侧方向上的这个分力。

帆船运动员在风中要不断依据风向改变帆形，使船速达到最快。若船的目的地正好在迎风的方向，帆船可以采取与风向大约呈 40° 夹角的“Z”形策略向前迂回行驶。这种航行方式被称做“迎风换舷”，即将受风部位从帆船的一侧换到另外一侧，如图 1.1.2 所示。

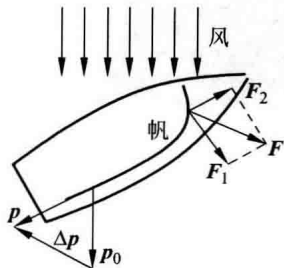


图 1.1.1 逆风行舟原理图

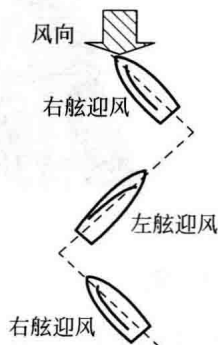


图 1.1.2 “Z”形路线

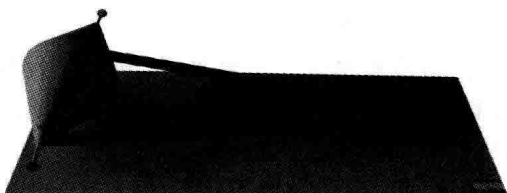
实验 1.2 锥体上滚

实验目的

1. 通过观察与思考双锥体沿倾斜导轨上滚的现象,深入理解在重力场中物体总是以降低重心、趋于稳定的规律运动。
2. 探究锥体上滚的动力学原因。
3. 探究锥体上滚的条件,通过改变导轨与水平面的夹角、导轨之间的夹角来研究。

实验装置

水平底座
V形导轨
锥体



实验步骤及现象

1. 适当调节 V 形导轨的夹角,以及导轨与水平面之间的夹角,把锥体放在导轨的低端,放手后,锥体自动向导轨的较高位置滚动,最后静止在导轨的最高位置。
2. 取一圆柱形物,置于导轨的低端,放手后不能自动向高处滚动。
3. 分别调节 V 形导轨与水平面的夹角、V 形导轨的夹角,仔细观察并总结锥体上滚的条件与哪些因素有关。

实验现象探究

1. 从动力学角度分析锥体为什么从导轨低处向高处滚动。
2. 通过实验定性说明锥体的锥角、V 形导轨的夹角及导轨与水平面的夹角对实验结果的影响。
3. 试导出实现密度均匀的锥体能上滚时,锥体锥角、导轨夹角、导轨与水平面的夹角三者之间满足的定量关系。

拓展探究与思考

1. 你能从受力的角度分析出锥体为什么向上滚吗(定性分析)?
2. 我们了解的重力场、静电场、稳恒磁场中有哪些情况表明能量最低原理?

注意事项

锥体在轨道上要放正,移动锥体时要轻拿轻放,防止它滚动时摔下来造成变形或损坏。

实验原理提示

能量最低原理：物体或系统的能量总是自然趋向最低状态。锥体与轨道的形状配合起来巧妙地利用了质心运动定理，而给人以向上滚动的错觉。实际上，当导轨夹角达到一定程度时，锥体由轨道的闭口端向开口端运动时，质心是逐渐降低的，锥体处在轨道的最高处时重心最低，重力势能最小。

锥体要向右平动，必然受水平向右的力。重力和摩擦力都不能提供水平向右的分力。支持力垂直接触面，如图 1.2.1 所示，支持力在水平面内的分力 N_1 可以使锥体向右平动。

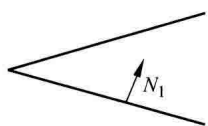


图 1.2.1 锥体所受支持力在水平面内的分力

锥体要在导轨上产生滚动的关键是要有动力矩的存在。在满足锥体上滚条件的前提下，我们选取某一状态分析，以圆锥面与导轨接触点的连线为滚动轴，其摩擦力矩、支持力的力矩为零，所以在该系统中仅可能是重力产生了力矩并起到了动力矩的作用。接下来的问题是如何判断重力矩是动力矩。我们可作如下定性判断：有两个平行水平导轨，把锥体放在上面，锥体将保持静止；如果把轨道水平拉开不再平行，我们会发现圆锥面与导轨切点向导轨靠近的方向偏移，这将导致锥体失去平衡向轨道的开口端运动；而如果轨道保持平行，把一端抬高导致圆锥面与导轨切点向轨道较高的方向偏移，这将导致锥体失去平衡向轨道低处运动。总之，只要两个因素满足一定条件时，总能使锥体圆锥面与导轨切点的位置向导轨靠近的方向（即导轨的低处）偏移，这样双圆锥体的重力产生了力矩且该重力力矩起到了动力矩的作用。

锥体上滚的条件与实验装置的几个夹角有关。如图 1.2.2 所示，设锥体顶角为 α ，两导轨夹角角度为 β ，导轨平面与水平面间的夹角为 γ ，设锥体在轨道上从轨道的位置 AB 滚到位置 CD 时，沿轨道滚动的距离为 l ，则 AB 与轨道的接触点与 CD 与轨道的接触点之间的高度差 $h = l \tan \frac{\beta}{2} \tan \frac{\alpha}{2}$ ，而两个位置对应轨道的高度差为 $H = l \sin \gamma$ ，只要满足 $H < h$ ，即 $\sin \gamma < \tan \frac{\beta}{2} \cdot \tan \frac{\alpha}{2}$ ，锥体就能从轨道的闭口端向开口端滚动。

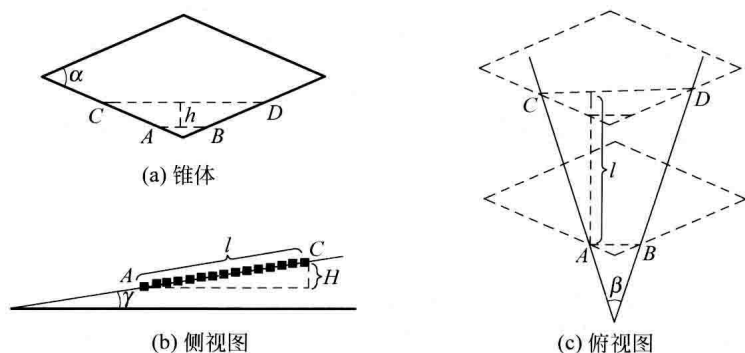


图 1.2.2 锥体上滚条件的原理图

实验 1.3 瑞 林 球

实验目的

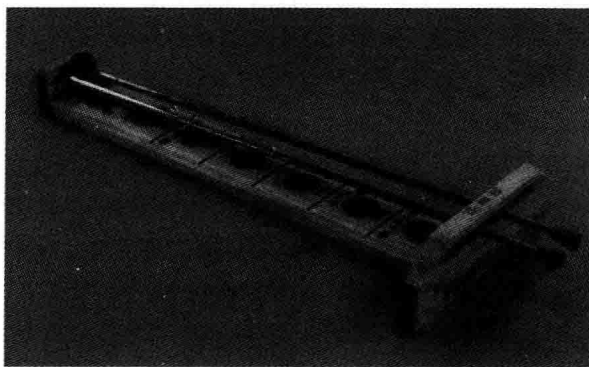
探究如何操作能让球往上滚得更高。

实验装置

水平底座

两根金属棍组成的导轨

金属小球



实验步骤及现象

通过双手控制两导轨杆的张角,使球从下往上滚。往上滚得越高,分值越高。

1. 双手控制两导轨杆,使其中间有一小张角。当两导轨杆之间的张角满足一定的范围时,钢珠将沿着轨道“向上”运动(该过程与锥体上滚同)。

2. 当钢珠运动一段距离后,它的直径可能要小于两导轨杆该位置处之间的距离,将要漏下,操作者此时迅速调节两导轨杆的夹角使其变小。我们会发现,小球有一个加速过程,然后减速。

3. 当小球速度将要达到零时,再增大两导轨杆的张角使钢珠再次作加速运动,如此反复,钢珠就会不断往上滚了。

实验现象探究

1. 由于重力的作用,物体总有向下运动的趋势,该实验钢珠为什么会向上滚?
2. 分别分析当两导轨杆的夹角调大、调小时小球如何运动及原因。
3. 最终小球的机械能增加了,能量来自哪个力做的功?

拓展探究与思考

试分析钢珠上滚的高度是否是无限的。(选作)

注意事项

不要让瑞林球摔落到地板,防止其变形,影响实验效果。

实验原理提示

该实验原理与“锥体上滚”实验原理相似。两导轨杆的张角较大时,由于重力,钢珠的重心要下降,“向上滚”只是表面现象,实质重心在下降。

当球滚到一定位置时,其直径小于该处两条铁棍之间的距离,小球将要漏下,可迅速减小两导轨杆的张角,当减小两导轨杆的张角时,钢珠由于受到导轨杆给它的支持力有一个指向操作者方向的水平分力 N_x (如实验 1.2 锥体上滚的图 1.2.1 所示),所以钢珠有一个快速加速过程;当夹角变小到一定程度,水平方向合力不再指向操作者,钢珠“向上滚”是由于惯性,该过程实质重心在上升,所以减速;等滚动速度减到接近零时,迅速使两导轨杆的张角增大。如此反复,使小球加速、减速不断向上滚动。小球最终增加的机械能来自调小导轨夹角的过程中手做的功。

增大两导轨的张角使小球向上滚动的过程原理与锥体上滚相同,所以上滚条件与小球形状、导轨与水平面的夹角和导轨之间的张角有关。该装置的小球形状确定,导轨与水平面的夹角确定,当钢珠滚到一定高度时,稍微增大两导轨杆的张角,钢珠就会漏下,导轨的张角不能增大到满足上滚条件,所以钢珠上升的高度是有极限的。

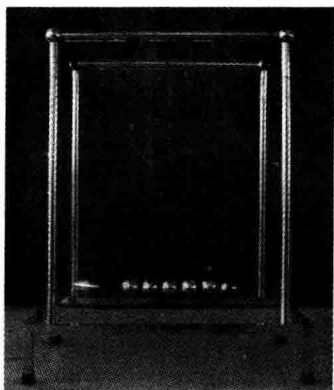
实验 1.4 弹性碰撞球

实验目的

1. 演示小球的弹性碰撞,质量相同的球体发生弹性正碰时,速度发生相互交换。
2. 探究多个弹性球正碰时的规律。
3. 探究质量不同的小球发生弹性正碰时的规律。

实验装置

7 个相同的弹性球



实验步骤及现象

1. 调整固定摆球的螺丝,尽量使摆球的球心处于同一水平直线上。
2. 拉起最左边的 1 个摆球释放,放手使其下摆撞击其他的摆球,可看到最右侧的 1 个摆球几乎立即弹起,其摆幅几乎等于左侧球的摆幅。接着右侧小球下摆撞击,再弹起最左侧的,如此反复。
3. 分别同时拉起左侧的 2 个摆球、3 个摆球或 4 个摆球释放,让其撞击剩余的摆球,可看到另一侧相同数目的摆球几乎立即摆起,其摆幅几乎等于被拉起的摆球的摆幅。
4. 给小球上黏附重物,改变弹性球的质量,研究质量不同的弹性小球发生正碰时的规律。

实验现象探究

1. 如何解释拉起 1 个小球让其下摆,碰撞的结果不是几个小球同时摆动得低一点,而是只有 1 个小球弹起几乎与拉起小球同样的高度?(提示:该问题实际上是问为什么不能把其他几个小球视为 1 个整体)
2. 为什么拉起 n 个小球,碰撞后被弹起相同数目的小球?

拓展探究与思考

1. 把一侧的 2 个小球粘在一起拉起,放手后另一侧会弹起 2 个小球还是 1 个,为什么?

2. 两侧各拉起 1 个小球到不同高度放手,会发生什么碰撞结果?
3. 一边拉起 1 个小球,另一边用手固定使其他小球不动,放手后会发生什么碰撞结果?

注意事项

保持 7 个摆球的球心处于同一直线上; 摆幅不要大, 否则效果反而不好。

实验原理提示

在理想情况下, 完全弹性碰撞的物理过程同时满足动量守恒和机械能守恒。如果 2 个球发生的是弹性正碰, 联立动量守恒和机械能守恒方程有:

$$\text{机械能守恒 } \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

$$\text{动量守恒 } m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

解得, 2 个球碰撞后速度为

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

若 $m_1 = m_2$, 则

$$v_1' = v_2, \quad v_2' = v_1$$

即结论是两个弹性正碰小球将会交换速度。

讨论 1: 若两个正碰弹性球碰前一个静止一个运动, 则碰后静止的变运动, 运动的变静止。所以实验中如果一侧拉起 1 个小球时, 相当于该球下摆到最低位置处先与第一个碰到的小球发生了如上所述的弹性正碰过程交换速度, 接下来获得速度的小球又与下一个小球发生相同的过程, 依次“传递”速度, 最后把速度交给最远的小球, 该小球以获得速度摆起, 返回时再进行一系列的弹性碰撞……

讨论 2: 如图 1.4.1 所示, 当同时拉起两个弹性球 1 和 2 时, 可认为在极短的时间内, 球 2 到达其最低位置先与球 3 弹性正碰交换速度, 球 2 变为静止, 球 3 再与球 4 碰撞交换速度, 依次碰撞, 最后把速度交换给球 7; 球 1 将会与变为静止的球 2 发生弹性正碰, 球 2 再次获得速度与变为静止的球 3 碰撞把速度交换给球 3, 依次碰撞, 最后把速度交换给球 6, 所以球 6 与球 7 以相同的速度摆动起来。同时拉起 3 个、4 个情况相同。

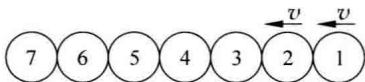


图 1.4.1 弹性球碰撞原理示意图

讨论 3: 当把一侧的 2 个小球粘或者绑在一起, 拉起放手, 相当于一个质量大的球与一个质量小的球碰撞, 结果另一侧只会弹起 1 个球, 且弹起的高度比较高。

讨论 4: 当两边同时各拉起 1 个小球到不同高度放手, 只要摆线与竖直方向夹角小于 5° , 由单摆的周期公式可知, 两球运动到最低点的时间相等, 将会两球同时与静止的球碰撞, 结果是两侧的小球交换速度(或者摆幅)。

实验 1.5 伯努利悬浮球

实验目的

1. 通过实验,定性认识伯努利原理。
2. 探究伯努利原理在生活中的应用。

实验装置

喇叭状的出气口

气球



实验步骤及现象

1. 给球充足气,打开箱体上的电源开关,手拿纸片感觉一下喇叭向下喷出的气流。
2. 托起气球靠近喇叭中心,至某一位置时气球被吸住。
3. 关闭电源,气球落下。

实验现象探究

实验装置中的气球,重力大于浮力,但是放在喇叭的下方且存在向下的气流时,球不但向下运动,而是向上吸,为什么?

拓展探究与思考

1. 如图 1.5.1 所示,用手固定一个吸管竖立在水里,另一个吸管水平放置稍高于竖立吸管上端口,用嘴用力吹,适当调节吸管露出水面的高度,会发生什么现象?