

物理现象的 探索性研究

◎ 李宝兴 主编

EXPLORATORY STUDY
OF PHYSICAL PHENOMENA



 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

物理现象的探索性研究

EXPLORATORY STUDY OF PHYSICAL PHENOMENA

主 编 李宝兴
副 主 编 杨建宋 詹士昌
编写人员 方华基 徐以锋 梁方束
李朝阳 赵力红 蒋永贵
吴 平



 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理现象的探索性研究 / 李宝兴主编. — 杭州 :
浙江大学出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-308-11920-7

I. ①物… II. ①李… III. ①物理学—研究 IV.
①04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第176114号

物理现象的探索性研究

李宝兴 主编

责任编辑 徐素君 sujunxu@zju.edu.cn
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路148号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州林智广告有限公司
印 刷 浙江印刷集团有限公司
开 本 710mm×1000mm 1/16
印 张 16.75
字 数 300千
版 次 2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-11920-7
定 价 68.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcb.tmall.com>

前言

物质的形态、结构、性质(诸如高度、速度、温度、电磁性质等)的变化所产生的物理现象多姿多彩、奇妙无穷,又无处不在、无时不有。探索它们的变化规律、揭示其物理本质,一直是人类千百年来孜孜以求的目标。正如杨振宁先生曾经说过的那样,物理学最重要的部分与现象有关,绝大部分物理学从现象中而来,现象是物理学的根源,也是物理探究的源泉。伴随着对物理现象的探究过程,我们已经积累了丰富的物理知识。

大学物理教学中普遍存在“学生觉得难学,教师认为难教”的情况,而推广物理演示实验是解决这个问题的有效手段之一。教师利用课堂和课外时间为学生演示物理现象,让他们感受物理现象的美妙和神奇,并在操作过程中引导学生对实验进行观察、思考和分析,把探索枯燥的科学理论寓于生动有趣的物理实验之中,这不仅能够大大促进各专业学生学习物理的兴趣,而且还能培养学生良好的学习态度和科学的学习方法,有利于培养学生的科学素质,激发学生的创新意识。

目前,在初、高中物理教学中,非常注重探究性学习。探究性物理教学实施的一个很好的途径,就是通过实验和实验问题,创设手脑并用的活动情景,激发学生的求知欲望,以提高学生的探究能力。本书可以作为中学物理实验教学的参考书,通过实验观察有趣的物理现象,与实验问题无缝对接,具有很强的针对性和可行性。

本实验教程包括81个演示实验,其中力学部分30个,电磁学部分25个,光学部分20个,近代物理部分6个,大多贴近生活,所需的实验装置结构简单,操作方便,演示直观。书中配有实验装置照片或简图,对实验操作和实验过程中的现象以及注意事项均有叙述;在介绍实验原理时,尽量避免繁琐的物理公式,力求语言通俗易懂;并加入了与实验内容相关的应用拓展或知识拓展,以开阔学生的眼界,扩大知识面,有意识地引导学生去探索各实验项目以外的物理规律;每个实验后附有

思考题,以加深学生对实验所涉及知识的理解。

本书适用于高校本科和专科各专业的师生,也可作为中学校本实验课程和高中学选修课的主要参考书,同时可作为初、高中教师培训的教材,还可供对物理实验有兴趣的其他读者参考。

本书主编李宝兴,参与编写的人员有杨建宋、詹士昌、徐以锋、方华基、梁方束、李朝阳、蒋永贵和赵力红,全书由吴平和李宝兴统稿。

编者真诚地希望读者对书中存在的缺点和错误给予批评指正。

主 编

2013.7

目 录

1 力学部分

惯性离心力 Inertial Centrifugal Force	002
物态和惯性 Matter State and its Inertia	007
科里奥利力 Coriolis Force	010
沙漏超重 Overweight and Weightlessness of Sandglass	013
逆风中行舟 a Sailboat Sailing against the Wind	017
弹性球碰撞 Elastic Collision	020
摩擦力演示 Friction	023
大小球弹跳 Large and Small Ball Jumping	027
路径与运动快慢 Path and Motion	030
最速下降线 Brachistochrone	033
锥体向上滚 Self-Rolling Cone	037
打击中心点 Center of Percussion	041
滚落判三球 Three Balls Roll Down	044
角动量守恒 Conservation of Angular Momentum	047
神奇 Yoyo 球 Yoyo	050
刚体的转动 Rotation of Rigid Body	054



麦克斯韦摆 Maxwell Rolling Pendulum	057
刚体的进动 Precession of Rigid Body	060
陀螺进动 Gyroscopic Precession	063
顶杆显神奇 Top Rod	066
压强的意义 Statistical Significance of Pressure	069
飞机的升力 Wing of Lift	072
高烟柱之谜 Tall Chimney	075
伯努利浮球 Bernoulli Ball	078
谁沉谁浮 Sink or Float	080
弹簧片共振 Resonance of Spring Leafs	082
喷水鱼洗 Spraying of Water in the Yuxi	085
声音的秘密 Secrets of Sound	089
水表面张力 the Surface Tension of Water	093
双节混沌摆 Double Chaos Pendulum	095

2 电磁学部分

电场力做功 the Electric Field Does Work	100
电量储存器 Leiden Vase	103
静电除尘器 Electrostatic Precipitator	105
静电起电机 Van de Graaff Generator	107
滴水起电机 Kelvin Water Drop Generator	110
圆形滚球 Electrostatic Circular Ball	113
火焰导电 Flame Conductivity	116
金属笼静电屏蔽 Metal Cage Electrostatic Shielding	119
雅各布天梯 Jacob's Ladder	122
温差电效应 Thermoelectric Effect	124

美丽辉光球 Plasma Magic Light	129
压电传感器 Piezoelectric Effect	132
手触蓄电池 Hand Touch Battery	135
基尔霍夫定律 Kirchhoff's Law	137
磁悬浮地球仪 Magnetic Suspension Globe	139
霍尔传感器 Hall Effect	141
风力发电机 Wind Power Generator	145
跳舞的弹簧 Dancing Spring	147
电磁炮 Novel Electromagnetic Gun	149
电磁弹簧振子 Electromagnetic Spring Oscillator	151
磁液爬坡 Magnetic Fluid Climbing Stairs	153
电磁阻尼摆 Electromagnetic Damping Pendulum	155
智能红绿灯 Traffic Lights	157
电磁波的传播和接收 Electromagnetic Wave Propagation	159
测电磁辐射 Measurement of Electromagnetic Radiation	162

3 光学部分

光速的测量 Speed of Light	166
黑板光学 Blackboard Optics	169
激光监听仪 Laser Monitoring Device	173
彩色的阴影 Colorful Shadow	175
X射线 X-Ray	178
白光全息 White-light Hologram	182
光学幻觉 Optical Mirage	185
海市蜃楼 Mirage	187
全反射 Total Reflection	192

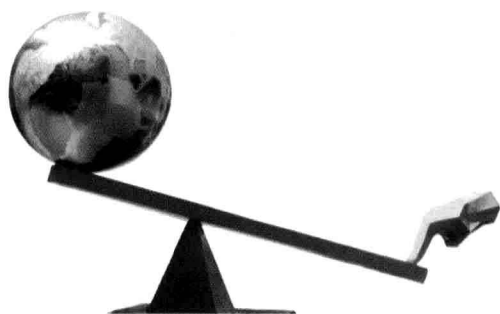
丁达尔效应 Tyndall Effect	197
光散射现象 the Phenomenon of Light Scattering	201
透射光栅和反射光栅 Transmittance Grating and Reflection Grating	205
超声光栅 Ultrasonic Grating	209
等倾干涉 Equal Inclination Interference	213
薄膜干涉 Thin Film Interference	216
偏振光干涉 Interference of Polarized Light	219
牛顿环 Newton Ring	222
泊松亮点 Poisson Spot	225
瑞利判据 Rayleigh Criterion	229
偏振万花筒 Polarization Kaleidoscope	232

4 近代物理部分

原子能级 Atomic Energy-level	236
开发太阳能 Solar Energy	240
记忆合金 Shape Memory Alloys	245
有机电致发光器 Organic Light-Emitting Device(OLED)	250
超导磁悬浮列车(一) Levitated Superconducting Magnet Train(1)	254
超导磁悬浮列车(二) Levitated Superconducting Magnet Train(2)	259

力学部分 01

Part 01 :Dynamics





惯性离心力

Inertial Centrifugal Force

我们都有过这样的经历:如果将伞旋转起来,那么伞面上的雨水将会被甩出;当车辆在公路弯道处行驶时,车辆有往外滑离的现象,而坐在车内的人往往会向外侧倾斜。是什么原因产生这样的现象呢?原来是惯性离心力在起作用。利用惯性离心力可以为我们服务。离心机就是利用惯性离心力原理制成的仪器。它是生物化学、分子生物学等实验室常备的仪器,用于快速分离各种生物样品。

■ 实验装置

惯性离心力演示仪如图1所示,底座机盒内装有电机,转盘下端固定在电机的转轴上。转盘上的玻璃管内置有石蜡球和塑料球,石蜡球的密度小于水,而塑料球的密度大于水,管的两端用塞子塞紧。石蜡球和塑料球在电机开启后旋转,并可沿玻璃管上下移动。

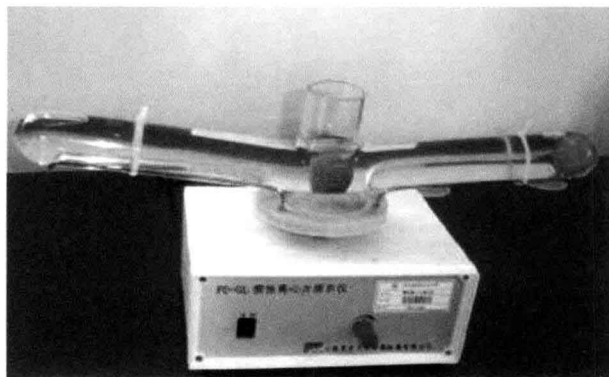


图1 惯性离心力演示仪

■ 现象观察

1. 在V形玻璃管内注入清水,先后放入石蜡球、塑料球和隔离圈,管的两端用塞子塞牢。转盘静止时,可观察到塑料球(重球)位于透明管的底部,而石蜡球(轻球)浮在管的外侧水平液面上,如图2所示。

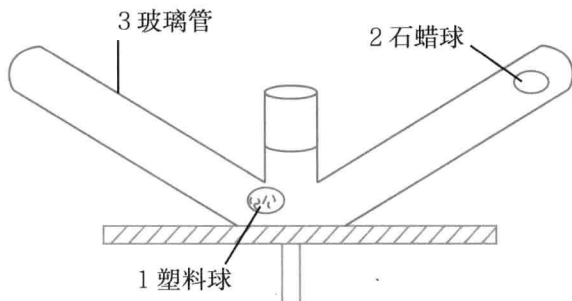


图2 V形玻璃管静止时塑料球和石蜡球状态示意图

2. 按下启动开关,将转盘转速由低向高缓慢调节,观察塑料球和石蜡球的运动状况,发现它们在玻璃管内发生有趣的位置转换:塑料球逐渐上升,从玻璃管的中心浮到水面上;而石蜡球却逐渐下降,从玻璃管外侧落到管的底部,并停留在中心处。

3. 松开启动开关,电机转速逐渐降低直至停止,继续观察两球的运动状况。发现随着转盘转速的减慢,石蜡球从玻璃管的中心上升,并最终浮在玻璃管外侧的水面上;而塑料球却从玻璃管外侧向下回落到底部,最后停留在中心位置。

现象解密

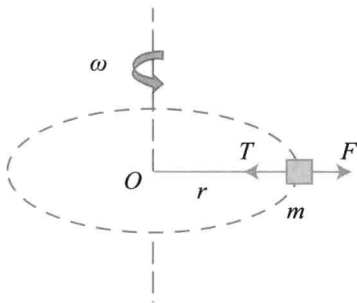


图3 做圆周运动物体所受的惯性离心力

有一光滑水平圆盘,可绕中心 O 旋转,质量为 m 的物体被细绳系在距离旋转中心 r 处,如图3所示。让绳拉着物体在水平面内绕 O 做圆周运动,物体转动速率为 v 、角速度为 ω 。此时绳子的张力 T 充当向心力, $T=mv^2/r=m\omega^2r$ 。如果观察者站在圆盘上,随物体 m 一起旋转,就会发现物体 m 处于平衡状态,加速度为零,受到的合力却不为零,显然违背了牛顿第二定律。这是怎么回事呢?

实际上,牛顿定律只有在惯性参照系中才成立,惯性参照系就是用牛顿第二定



律定义的参照系,在此参照系中,一个不受力的物体将保持静止或做匀速直线运动。图3中,圆盘上旋转的物体 m 在受到向心力 T 的同时,还受到与向心力大小相等、方向相反的 $F_{\text{惯}}$ 的作用,并且转速越大, $F_{\text{惯}}$ 也越大。 $F_{\text{惯}}$ 称为惯性离心力,简称离心力。

显然惯性离心力(或离心力)在非惯性系中观察时,不是物体间的相互作用,也没有反作用力,是个实际并不存在的虚拟力。

本实验利用密度分别大于和小于水的两个小球在旋转玻璃管中的上升和下降,来显示转动系统中液体内部压强的变化及所受到的惯性离心力。

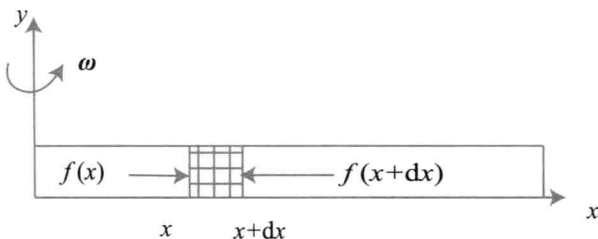


图4 水平玻璃管内液体在旋转时的受力示意图

为方便起见,设玻璃管水平放置,管的截面积为 S ,管内充满密度为 ρ_0 的液体,玻璃管可绕其一端以角速度 ω 转动,如图4所示。在坐标 x 处取长为 dx 的一小段液柱,其质量为 $dm = \rho_0 S dx$,该液柱左右两边的液体对它的作用力分别为 $f(x)$ 和 $f(x+dx)$,由于液柱做角速度为 ω 的圆周运动,有

$$f(x+dx) - f(x) = \omega^2 x dm = \rho_0 S \omega^2 x dx \quad (1)$$

由式①解得

$$f(x) = \frac{1}{2} \rho_0 S \omega^2 x^2 \quad (2)$$

液体内部距转轴 x 处的压强为

$$p(x) = \frac{f(x)}{S} = \frac{1}{2} \rho_0 \omega^2 x^2 \quad (3)$$

由式③可见,管内离转轴越远的地方,液体的压强越大。

如果将一个长为 l 、截面积为 S 、密度为 ρ 的物体放入管中坐标为 x 的地方,则它受到的合力为

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{2} \rho S \omega^2 [(x+l)^2 - x^2] - \frac{1}{2} \rho_0 S \omega^2 [(x+l)^2 - x^2] \\ &= \frac{1}{2} (\rho - \rho_0) S \omega^2 [(x+l)^2 - x^2] \end{aligned} \quad (4)$$

式④为物体本身由于绕轴旋转而受到的惯性离心力以及管内液体作用在物体两端压力的合力。由式④可得出以下结论:

①当 $\rho > \rho_0$ 时, $F > 0$, 物体在绕轴旋转的同时, 将沿 x 轴正方向运动而远离转轴;

②当 $\rho < \rho_0$ 时, $F < 0$, 物体在绕轴旋转的同时, 将沿 x 轴负方向运动而靠近转轴;

③当 $\rho = \rho_0$ 时, $F = 0$, 物体将稳定地在 x 位置处绕轴旋转。

本实验装置中的玻璃管不是水平放置的, 为方便向管内灌入液体, 将管子设计成两端向上翘起的V字形。放入玻璃管的物体为两个小球, 其中塑料球的密度大于水, 另一个石蜡球的密度小于水。小球在管内绕轴转动时的受力分析及运动情况与管子水平放置时类似, 只略有不同。

应用拓展

在工农业生产和日常生活中, 离心技术已得到十分广泛的应用。离心技术的作用, 主要体现在以下几方面:

1. 离心沉降技术

无论液体还是固体颗粒, 装在容器中绕轴旋转时, 都会由于离心力的不同而按比重大小分层排列, 比重小的离转轴近, 比重大的离转轴远。利用这一原理, 可将不同比重的液体或固体颗粒分离开来, 沉降速度取决于颗粒的质量、大小和密度。

在生物科学, 特别是在生物化学和分子生物学研究领域, 这种离心沉降技术主要用于各种生物样品的分离和制备。许多生物化学和分子生物学实验室都要装备多种型式的离心机。生物样品悬浮液在离心机中高速旋转, 由于巨大的离心作用, 使悬浮的微小颗粒(细胞器、生物大分子等)以一定的速度沉降, 从而与溶液分离。沉降速度取决于颗粒的质量、大小和密度。生物医学实验室中就是利用离心机, 根据离心力大小的不同, 分离血清中红细胞和白细胞。此外, 离心沉降法还可用来提取奶油、分离酵母, 用于净化污水等多种用途。

2. 离心过滤技术

如果在高速旋转的容器上开满小孔, 在容器旋转过程中, 容器内的液体便会受到离心力的作用而被抛甩出来, 大于小孔直径的物体则被留在容器内。家用洗衣机中衣服的甩干就是利用了这种离心过滤的方法。



3. 离心浇铸

将熔化的液体金属注入绕固定轴高速旋转的模具中,液态金属将被甩向模具壁而紧压模具,同时夹杂其中的气体和熔渣将从金属中分离出来,用这种办法浇铸的金属零件密实均匀,不含气泡、残渣和裂痕,可大大提高浇铸质量。

■ 思考题

1. 针对本实验装置中的V形玻璃管,分析管内小球绕轴转动时的受力情况,并讨论当小球的密度大于、等于、小于液体密度时的运动状态。(提示:此时小球除受到式④所表达的力外,还要考虑小球的重力、管壁的压力、液体对它的浮力等的作用。)
2. 匀速转动与变速转动的参照系都是非惯性系吗?
3. 请找出几个生产生活中利用离心技术的装置,并分析其工作原理。
4. 提出一个利用离心现象的创新设想。

物态和惯性

Matter State and its Inertia

牛顿第一定律认为惯性是物体的固有性质,物体惯性的大小由其质量决定,而与运动状态无关。那么惯性是否与物体的存在形态,即固态、液态等有关呢?

实验装置

两个相同的圆柱形透明玻璃瓶、大米、一片黄色塑料膜、一块光滑木板等。

现象观察

称出玻璃瓶质量,其中一个玻璃瓶中灌满大米(尽可能多装),另一个玻璃瓶中装有相同质量的水。将两个圆柱形玻璃瓶放在木板斜面上的同一高度,让它们同时滚下(如图1所示),观察哪个玻璃瓶滚得快、滚得远。

两玻璃瓶同时释放后,观察到在斜面上,装水的玻璃瓶滚得快(如图2所示),但到了地面上滚动一段距离后,发现装大米的玻璃瓶滚动速度会超过装水的玻璃瓶,最终装大米的玻璃瓶滚得更远。



图1 两玻璃瓶同时释放

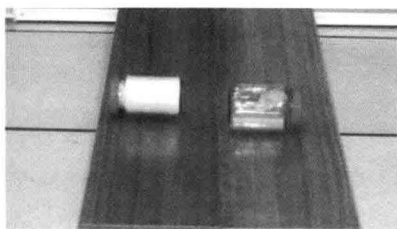


图2 两玻璃瓶下滚过程

现象解密

上述分别装有大米与水,但总质量相同的玻璃瓶,它们的滚动情况是否说明相同质量的物体运动状态的改变与物体的存在形态有关呢?我们分别对以上两种情况进行定量分析。从实验观察发现,两个玻璃瓶都没有明显的滑动,因而假设它们都做纯滚动。



1. 装大米的玻璃瓶

玻璃瓶在下滚的过程中,我们发现玻璃瓶中的大米与玻璃瓶没有相对运动,而是一起滚动下来的。如图3所示,设玻璃瓶与大米的总质量为 M ,沿斜面下滑某一瞬时速度为 v 。由于大米被完全挤压在一起,大米与玻璃瓶就相当于是一个实心圆柱体,其纵向轴转动惯量为 I_1 ,瞬时转动的角速度为 ω , g 为重力加速度, h 为斜面的高度。玻璃瓶下滚的过程中机械能守恒,得运动方程为

$$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I_1\omega^2 + Mg(L-s)\sin\alpha = c_1 \quad (c_1 \text{ 为常数})$$

玻璃瓶转速 $\omega = \frac{v}{r}$, 设玻璃瓶与大米总的转动惯量为 $I_1 = M\frac{r^2}{2}$ 。则上述运动方程可化为 $\frac{3}{4}Mv^2 + Mg(L-s)\sin\alpha = c_1$ (r 为两个玻璃瓶的半径), 运动方程对时间求导之后, 得 $a_1 = \frac{2}{3}g\sin\alpha$ 。

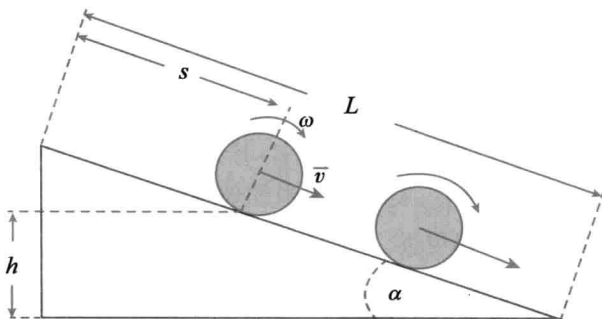


图3 实心圆柱体斜面上滚示意图

2. 装水的玻璃瓶

透过玻璃瓶,我们发现虽然玻璃瓶是滚下来的,但是瓶中的水开始时并未旋转滚动(为便于观察,本实验中瓶内放入了黄色塑料膜)。玻璃瓶中的水只是沿斜面向下滑动。设透明玻璃瓶的质量为 m , 玻璃瓶与水的总质量为 M 。一个空心玻璃瓶绕纵向轴旋转惯量 $I_2 = mr^2$, $\omega = \frac{v}{r}$, $m = kM$, $k < 1$ 。 $\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I_2\omega^2 + Mg(L-s)\sin\alpha = c_2$, c_2 为常数。将 $I_2 = mr^2$, $\omega = \frac{v}{r}$, $m = kM$ 代入,得

$$\frac{1}{2}Mv^2(1+k) + Mg(L-s)\sin\alpha = c_2$$

对运动方程时间求导,得 $a_2 = g\sin\alpha \cdot \frac{1}{1+k}$ 。我们发现刚开始时,装水的玻璃瓶