

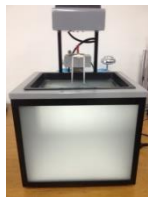

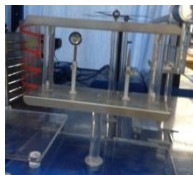
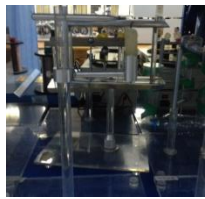



2016 年春季学期演示实验参考目录

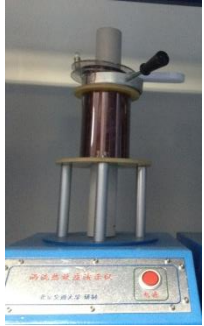

说明：春季学期实验包括了运动学、动力学、振动和波动、电磁学四部分内容

所属范围	序号	实验名称	仪器照片	是否考查
动量 动量定理	3	冲量演示		是
	5	质心运动演示仪		是
惯性力	7	离心力演示仪		是
	8	旋珠式科里奥利力演示仪		是
转动定理	11	麦克斯韦转轮		是
角动量守恒	12	节速器（小）		这类实验至少要演示一个，其余的要在授课过程提及

	13	节速器（大）		
	14	茹科夫斯基凳		
	15	陀螺仪		
进动	16	进动演示仪		是
流体力学	17	气体流速与压强关系		是
	22	音叉		是
共振				
	25	单摆共振演示仪（自制）		是

	27	弦线驻波演示仪		这类实验至少要演示一个，其余的要在授课过程提及
	28	纵驻波		
	29	环驻波演示仪		
	30	水波演示仪（干涉）		
	311	鱼洗		
静电演示				
	34	避雷针		此类实验至少要演示一个，其余的要在授课过程提及
	35	尖端放电吹蜡烛		
	36	电风转筒		

静电力、静电场演示	42	摆球实验（平板电容器间静电现象）		是
稳恒磁场（磁力）	44	安培力演示		是
电磁感应	48	法拉第电磁感应实验（开、闭环）		是
	49	跳环楞次定律演示仪		
电磁感应（涡旋场）	54	磁阻尼摆		此类实验必选一个演示
	55	阻尼管（涡旋电场）		

	56	涡旋热效应		
电磁波发射、接收	57	电磁波发射、接收演示仪		是

一. 冲量演示

1. 演示目的

冲量定理

2. 原理

冲量定理

3. 仪器装置



4. 演示操作

5. 讨论与思考

二. 质心运动演示仪

1. 演示目的

验证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。了解质心的物理意义并验证质心运动规律。

2. 原理

质点系的运动可以分解为以质点为代表的质点系整体平动和各个质点相对于质心的运动。而质心的运动遵循质心运动定理，即作用于质点系的合外力等于质点系的总质量与质心加速度的乘积。质点系内各质点绕质心的转动遵循质点系角动量定理，即作用于质点系的合外力矩等于质点系的转动惯量与其角速度的成绩。

本仪器采用哑铃，它是一个刚体质点系，各个质点所受重力的合力在质心处。当弹杆打击哑铃时打在其质心上，打击力与重力的合力使它总体运动，因为无外力矩作用，则只有质心的平动而没有转动；若打击点偏离质心，则哑铃既有平动，又有转动。

3. 仪器装置



4. 演示操作：

- (1) 将打击棒压下，用卡扣扣住。把哑铃放在支架上，并使哑铃的质心恰好处在打击棒的正上方。释放卡扣，可看到哑铃被垂直地打起来，哑铃始终平行运动。其质心运动轨迹为竖直的直线。
- (2) 重复 1 的实验，但使哑铃的质心偏离打击棒的正上方。可看到哑铃飞起后，质心的运动轨迹仍为竖直的直线，但是哑铃同时参与绕质心的转动。质心位于打击棒的上方左、右不同位置，哑铃转动的方向也不同。
- (3) 打击力必须是短促而强劲的冲击力。否则，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支持力的作用下，哑铃将抛向一侧，而质心不是竖直向上运动。

5. 讨论与思考

- (1) 假设打击力对哑铃的冲量不变，研究质心运动经过的轨迹，以及比较不同打

击点情况下质心达到的最大高度？

- (2) 当哑铃的质心偏离打击棒的正上方，且质心位于打击棒的上方左右不同位置，哑铃的转动方向也不同，为什么？

三. 离心力演示仪

1. 演示目的

演示惯性离心力。

2. 原理

离心力是一个惯性力，实际上是并不存在的。当物体圆周运动时，会受到向心力的作用，它既可以由某个力单独提供，也可以是多个力的合力，它迫使物体的运动方向发生变化，它的方向指向圆心。用牛顿运动规律来看，则物体必然还受到一个惯性离心力的作用，该力与向心力大小相等，方向相反，从而使物体在转动参照系中处于平衡状态。也就是我们要研究的离心力。当启动仪器时，塑料带各部分均作水平方向的圆周运动，所需要的向心力由临近部分的塑料小段的拉力的径向分力提供。并且，在圆环“赤道”区域，做圆周运动的半径最大，所以其惯性离心力也最大，在两极则无惯性离心力，随着圆环塑料带转速的加快，作用在圆环塑料带上的惯性离心力迫使环壁向外拉，圆环克服弹性力逐渐变扁变成旋转的椭圆形状。停止转动后，由于不再受惯性离心力，于是在弹性力作用下恢原状。

3. 装置

离心力演示仪是一个圆柱形仪器，中间有一个细柱，细柱穿过一段闭合的硬塑料带上的两个正对小孔，塑料带的一段固定，一端可以自由移动。



4. 现象演示

按下启动开关，电机开始旋转，圆环塑料带也随之转动，注意观察圆环形状。当旋转速度增大时，可以看到塑料带的自由端延细柱向下运动，整个塑料带变成旋转的椭圆形状。松开电源按钮开关，圆环又恢复了原状。

5. 讨论与思考：

- (1) 当我们把塑料带上端也固定了再进行实验，结果会怎么样呢？
- (2) 实验仪器中塑料带的选取有什么样的要求？
- (3) 列举生活中应用离心力的例子，并说明其原因？

四. 旋珠式科里奥利力演示仪

1. 演示目的

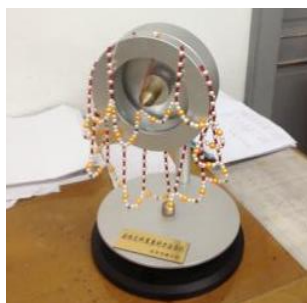
演示科里奥利力。

2. 原理

科里奥利力是由法国气象学家科里奥利在 1835 年提出的,是为了描述非惯性系内的运动而需要在运动方程中引入一个假想的力。引入科里奥利力之后,人们可以像处理惯性系中的运动方程一样简单地处理非惯性系(旋转体系)中的运动方程,大大简化了非惯性系的处理方式。科里奥利力表示为 $\vec{f} = 2m\vec{v} \times \vec{\omega}$ 。

本实验中,可以取四个特殊位置(上、下、左、右)的珠子来判断串珠的运动变化。假设转盘是逆时针转动,即非惯性系的转动角速度 ω 的方向竖直向上,若飞轮绕自转轴在纸平面内的转动也是逆时针的,此时四个位置上的珠子相对于飞轮(非惯性系)的线速度则可以判断出:左、右两颗珠子所受的科里奥利力为零;上面的珠子受到的科里奥利力为 $2mv\omega$,方向垂直纸面向内,从而该位置上的串珠向内偏移;反之,下面的珠子受到同样大小的科里奥利力,但方向相反,从而该位置的串珠向外偏移。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 一手握住底座上方的转盘,使转盘固定,另一手驱动飞轮,使飞轮绕水平自转轴转动,可以观察到飞轮边缘上的塑料串珠都在同一竖直平面内作圆周运动,呈一朵花的形状。
- (2) 飞轮绕自转轴转动的同时,驱动转盘使飞轮绕转盘支承轴转动,可以观察到塑料串珠构成的花的形状发生了改变,串珠产生了向竖直转动平面内或外的偏移,一眼望去,串珠的边缘似乎起了波浪。

5. 讨论与思考:

- (1) 地转偏向力有助于解释一些地理现象,如河道的一边往往比另一边冲刷得更厉害。北半球和南半球有何异同? 信风与季风的原理?

- (2) 讨论傅科摆的原理？为什么北半球摆面会缓缓向右旋转？
- (3) 科里奥利力会对分子的振动转动光谱产生影响。分子的振动可以看作质点的直线运动，分子整体的转动会对振动产生影响，从而使得原本相互独立的振动和转动之间产生耦合，另外由于科里奥利力的存在，原本相互独立的振动模之间也会发生能量的沟通，这种能量的沟通会对分子的红外光谱和拉曼光谱行为产生影响。

五. 麦克斯韦转轮(滚摆)

1. 演示目的

- (1) 通过滚摆的滚动演示机械能守恒;
- (2) 演示滚摆的平动、转动动能之和与重力势能之间的转换。

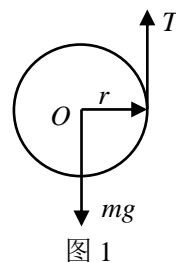
2. 原理

重力作用下滚摆的运动是质心的平动与绕质心的转动的叠加, 选滚摆和地球作为系统, 系统没有外力和非保守内力做功, 机械能守恒。滚摆在下落过程中, 重力势能转变为质心的平动动能与绕质心的转动动能, 机械能守恒。在滚摆上滚的过程中, 质心的平动动能和绕质心的转动动能将转变为滚摆的重力势能, 系统的机械能保持不变。在滚摆上升和下降的过程中, 滚轮的重力势能和转动动能间不断进行相互转化, 从而使滚摆能周而复始地上下摆动。

重力作用下滚摆的运动是质心的平动与绕质心的转动的叠加, 其动力学过程的计算可用质心运动定理和质心角动量定理。滚摆的受力如图 1 所示, 其动力学方程组如下:

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

$$\text{解得 } a_c = \frac{g}{1 + \frac{J}{mr^2}}, \quad T = \frac{J}{J + mr^2} mg, \quad \beta = \frac{g/r}{1 + \frac{J}{mr^2}}$$



滚摆从静止开始下落, 下落高度为 h .

$$\text{质心平动动能为: } E_{kp} = \frac{1}{2} \frac{mg^2 t^2}{\left(1 + \frac{J}{mr^2}\right)^2}$$

$$\text{绕质心转动动能为: } E_{ks} = \frac{1}{2} \frac{Jg^2 t^2 / r^2}{\left(1 + \frac{J}{mr^2}\right)^2}$$

$$\text{总动能为: } E_{kp} + E_{ks} = \frac{1}{2} \frac{mg^2 t^2}{\left(1 + \frac{J}{mr^2}\right)^2} + \frac{1}{2} \frac{Jg^2 t^2 / r^2}{\left(1 + \frac{J}{mr^2}\right)^2} = mgh$$

由此可知, 重力势能变成了质心的平动动能与绕质心的转动动能, 总机械能守恒。

3. 装置

麦克斯韦滚摆由一个边缘厚重、中心穿有一个细轴的滚轮和细轴、支架等组成（见下图）。



4. 现象演示

- (1) 调节悬线，使滚摆轴保持水平，然后转动滚摆的轴，使悬线均匀绕在轴上（绕线不能重叠）。当滚摆到达一定高度，使轮在挂线悬点的正下方，放手使其平稳下落。
- (2) 在重力作用下，重力势能转化为轮的转动动能与轮质心的平动动能。轮下降到最低点时，轮的转速最大，转动动能最大；然后又反向卷绕挂绳，转动动能与质心的平动动能转化为重力势能，轮的转速减小，位置升高。如此可多次重复直至停止。

5. 讨论与思考：

- (1) 分析滚摆下落速度(平动)与位置高度的关系；
- (2) 分析滚摆上下平动的周期与轴径的关系；
- (3) 分析滚摆上下平动的周期与滚摆质量的关系；
- (4) 分析滚摆上下平动的周期与滚摆转动惯量的关系。

六. 节速器（小）

1. 演示目的

2. 原理

角动量守恒

3. 装置



4. 现象演示

5. 讨论与思考：

七. 茹科夫斯基椅

1. 演示目的

定性观察合外力矩为零的条件下，物体系统的角动量守恒。

2. 原理

质点系绕定轴转动时，若其所受到的合外力矩为零，则质点系的角动量守恒， $L = J\omega = \text{恒量}$ 。因为内力矩不会影响质点系的角动量，若质点系在内力的作用下，质量分布发生变化，从而使绕定轴转动的转动惯量改变，则它的角速度将发生相应的改变以保持总角动量守恒。本实验的对象是手持哑铃坐在轮椅上的操作者，若哑铃位置改变，则操作者及轮椅系统的转动惯量改变，从而系统角速度随之改变。

3. 装置

茹科夫斯基椅



4. 现象演示

- (1) 操作者坐在可绕竖直轴自由旋转的椅子上，手握哑铃，两臂平伸。
- (2) 其他人推动转椅使转椅转动起来，然后操作者收缩双臂，可看到操作者和椅的转速显著加大。两臂再度平伸，转速复又减慢。可多次重复，直至停止。

5. 讨论与思考：

- (1) 操作者手持哑铃坐在转椅上伸缩手臂，可使转速随之而改变；花样滑冰转体动作随肢体的伸缩也在改变转速，试问这两种情况地面的支持力分别起什么作用？跳水运动员或体操运动员在空中改变形体是否可以使身体停止转动？
- (2) 在本实验中，坐在转椅上的操作者，哑铃和转椅所构成系统的总动能是否发生变化？

八. 陀螺仪

1. 实验目的

- (1) 演示定向陀螺、刚体运动。
- (2) 同时验证角动量守恒定律。

2. 实验原理

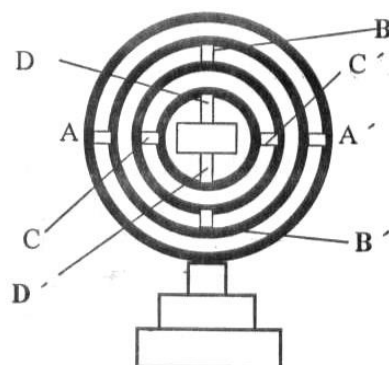
当系统所受到的合外力矩为零时，物体的角动量保持不变。

物体的角动量等于物体的转动惯量和角速度的乘积。所以角动量保持不变有两种可能。一种是转动惯量和角速度均保持不变。例如，地球的自转，就几乎是这种情况。另一种是转动惯量发生改变、角速度也同时改变，例如舞蹈演员，滑冰运动员，在旋转的时候，往往先把两臂张开旋转，然后迅速把两臂靠拢身体，使自己的转动惯量迅速减小，因而旋转速度加快。

陀螺仪是用以演示转动物体在不受外力矩作用时将保持其角动量不变，转轴方向不变这一重要特性的仪器。

其结构如图：转子 E 被启动电机起动后高速旋转。其外分别有四个圆环，由外到内依次为 A、B、C、D。外环 A 可用手持，任意改变方向，也可将其插入固定底座中使其不动。B 环能绕由光滑支点 AA' 所确定的轴自由转动。C 环能绕与 B 环相接的光滑支点 BB 所确定的轴自由转动。D 环能绕与环相连的光滑支点 CC' 所确定的轴自由转动。回转仪 E 是一个能高速旋转的厚重、对称的转子。其轴 DD' 装在内环（即 D 环）上。AA、BB、CC、DD 三轴互相垂直，这就使转子高速旋转后，对它不再作用外力矩，由于角动量守恒，其转轴方向将是保持恒定不变的。即使把外环 A 作任意转动，也不会影响转子转轴的方向。陀螺仪这一转轴方向不变的特性通常用作定向装置（例如回转罗盘），作为舰船、飞机、导弹的方向标准。在现代技术中应用很广。

3. 实验装置



陀螺仪是用以演示转动物体在不受外力矩作用时，将保持其角动量不变这一特性的仪器。在框架上的三个圆环组成了常平架，圆环可绕各自的轴自由转动，三轴两两垂直，且都通过陀螺仪的重心，整个装置不受外力矩的作用，中

间的转子高速旋转后，由于角动量守恒，其转轴方向将是保持恒定不变的。即使把外环作任意转动，也不会影响转子转轴的方向。陀螺仪这一转轴方向不变的特性通常用作定向装置（如回转罗盘），作为舰船、飞机、导弹的方向标准。在现代技术中的应用很广。

4. 现象演示

- (1) 将电机的电源线接入 220V 电源，打开开关（带灯）。
- (2) 演示角动量守恒：将陀螺仪四个外环调整到同一平面内，将陀螺仪的转轮放在启动轮架(加速器)上,转轮与电机上主动轮对正的情况下下压(踩脚踏开关)陀螺仪转轮（可使电接点接通使得电机旋转），当陀螺仪高速旋转起来后（手应握紧回转仪的手柄及四个外环），可以将陀螺仪拿起提离转轮架。观察陀螺仪转轴的角度。然后手拿陀螺仪外框的轴，向各个方向转动，任意改变外环的方向，我们看到转子的方向始终保持不变，，这时陀螺仪转轴的角度始终不变，演示回转现象。
- (3) 演示刚体的进动：将无框的陀螺仪放在加速器上，踩脚踏开关，将回转陀螺仪高速旋转起来，将陀螺仪拿起，将回转陀螺仪有横杆的一端放置于底座转盘上，此时，陀螺仪就会绕竖直轴进动。看到回转陀螺仪高速旋转的同时转盘也转动起来，观察改变回转陀螺仪不同倾角姿态下的运动状态。（注:当回转陀螺仪明显减速后，应迅速将其取下，以免陀螺仪倒下滚动伤人或滚远）。
- (4) 还有几个用陀螺仪演示的角动量守恒小实验，也非常有趣：在回转陀螺仪高速旋转状态下，观看回转陀螺仪在倾斜轨道速降的运动（使得有凹槽滚轮对正接触轨道）。将旋转的陀螺仪放在斜坡上，它不会倒下，而会沿斜坡下滑；将旋转的陀螺仪倒放在转盘上，放的位置不同，现象也不同。

注意事项：

- (1) 在操作时应使得陀螺仪转轮不碰触壳体状况下，缓慢下压接触摩擦轮、当陀螺仪转轮速度渐高后再落实至一定高速后、抬离轮架。
- (2) 在操作中应握紧启动。
- (3) 电源开关使用后，应及时关闭免出事。
- (4) 转盘可以取下后，回转陀螺仪可插入座中放置。
- (5) 电源保险在开关总成内（5A）。

5. 讨论与思考

- (1) 飞行体是怎样利用常平架回转仪转轴方向不变的特性实现导航的？

陀螺仪，是一种用来感测与维持方向的装置，基于角动量不灭的理论设计出来的。陀螺仪主要是由一个位于轴心可以旋转的轮子构成。陀螺仪一旦开始旋转，由于轮子的角动量，陀螺仪有抗拒方向改变的趋向。陀螺仪多用于导航、定位等系统。

陀螺仪的装置,一直是航空和航海上航行姿态及速率等最方便实用的参考仪表。基本上陀螺仪是一种机械装置,其主要部分是一个对旋转轴以极高角速度旋转的转子,转子装在一支架内;在通过转子中心轴上加一内环架,那么陀螺仪就可环绕飞机两轴作自由运动;然后,在内环架外加上一外环架;这个陀螺仪有两个平衡环,可以环绕飞机三轴作自由运动,就是一个完整的太空陀螺仪。

九. 进动演示仪

1. 演示目的

演示旋转刚体(车轮)在外力矩作用下的进动。

2. 原理

若一个物理矢量的变化率矢量总是垂直于该物理矢量且其大小保持不变时，则此物理矢量将总是改变方向而不改变大小，也就是说它将做进动。若 \vec{G} 矢量为常矢量，则形如 $\frac{d\vec{A}}{dt} = \vec{G} \times \vec{A}$ 的方程称为进动方程。因为 \vec{G} 矢量与 \vec{A} 矢量的叉乘所得矢量 $\vec{G} \times \vec{A}$ 总与 \vec{A} 矢量相垂直，且它又是 \vec{A} 矢量的变化率，因此 \vec{A} 矢量总是在改变方向而保持大小不变， \vec{A} 矢量的改变方向使 $\vec{G} \times \vec{A}$ 以同样的方式在改变方向，结果则是 \vec{A} 矢量绕 \vec{G} 矢量做进动，如图 1。

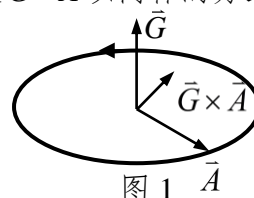
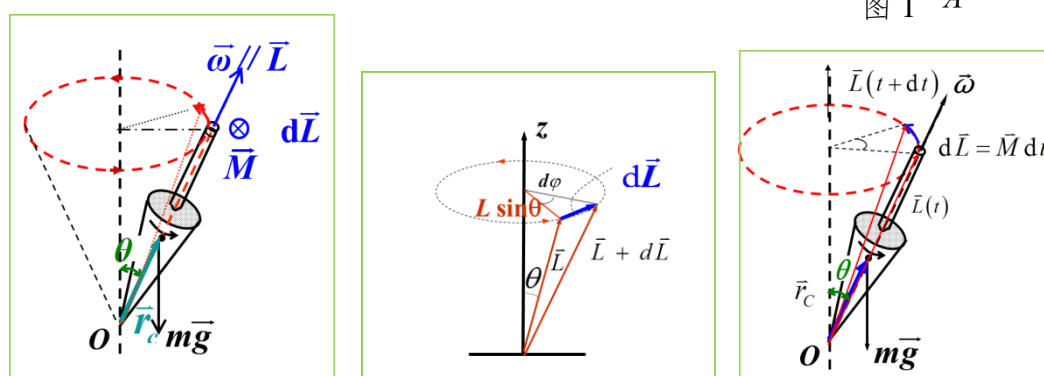


图 1 \vec{A}



陀螺绕自身轴转动的角动量为 $\vec{L} = J\vec{\omega}$ ，陀螺所受的外力矩是重力矩 $\vec{M} = \vec{r}_c \times m\vec{g}$ 。重力矩的方向始终垂直于质心位矢 \vec{r}_c 的方向（即自转轴的方向）。根据刚体的角动量定理可知，在重力矩的作用下，在 dt 时间内旋转陀螺的角动量增量为： $d\vec{L} = \vec{M}dt$ ，方向与重力矩的方向一致，始终垂直于车轮的自转轴，也就是垂直于 t 时刻的角动量方向，即 $d\vec{L} \perp \vec{L}$ 。当 $d\vec{L} \perp \vec{L}$ 时， $d\vec{L}$ 只改变 \vec{L} 方向而不改变其大小，于是出现了进动现象。

本实验演示车轮的进动。如图 2 所示，具有角动量 L 的车轮被一质点 O 支撑起来，在距质点 O 长度为 l 处挂一质量为 m 的重物。若车轮 A 和砝码关于支点 O 不平衡，飞速转动着的车轮将在砝码的作用下开始进动。

看图，按极坐标列出车轮的运动方程。

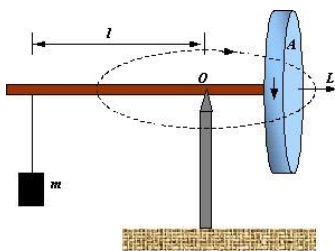


图 2

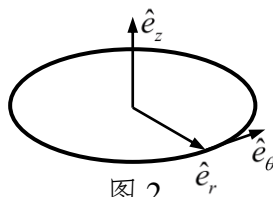


图 2

设砝码使车轮平衡后再加上砝码 m ，此时它受到的力为 $\vec{f} = -mg\hat{e}_z$ ，力臂

(以 \vec{L} 方向的单位矢量 \hat{e}_r 表示): $\vec{r} = -l\hat{e}_r = -\frac{\vec{L}}{L}l$

设车轮所受力矩为 \vec{M} ，由角动量定理可知 $\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$

而依据力矩定义有: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{f} = -\frac{\vec{L}}{L}l \times \vec{f} = \frac{l}{L} \vec{f} \times \vec{L}$

由以上两式得: $\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{l}{L} \vec{f} \times \vec{L}$

该式说明车轮将做进动，进动方向为 $-\hat{e}_\theta$ 方向，进动角频率 $\omega = mg \frac{l}{L}$

3. 实验装置



4. 实验现象

(1) 车轮未旋转时，在车轮重力矩作用下系统向车轮端倾斜；

~~观察刚体的定向转动；当系统所受合外力矩为零时，系统角动量守恒。通过调节配重物将进动仪保持水平，此时系统的重心通过仪器的竖直轴，系统不受外力矩。转动自转轮，达到一定速度后，整体转动或移动仪器，转轮自转轴方向不变。~~

(2) 旋转车轮，转轴以质点 O 为轴顺时针方向转动，即出现进动现象；

(3) 恰当增加砝码，当砝码一侧所受重力矩与车轮所受重力矩平衡时，尽管车轮旋转，却无进动现象；

- (4) 继续增加砝码，转轴将以质点 O 为轴逆时针方向转动，即出现进动现象；
- (5) 依次减少同等数量砝码，亦出现以上现象。
- (6) 将配重物内移或外移，观察并分析进动现象。

5. 讨论与思考：

- (1) 分析进动现象中转轴的旋转方向；
- (2) 分析摩擦力的作用，其力矩能否对角动量进动产生影响？
- (3) 观察进动快慢与转轮转速的关系。
- (4) 若转动轴开始时有一定倾斜，可能出现车轮进动的同时，它的轴还上下摆动，这称为章动。试分析产生章动的能量来源？

十. 气体流速与压强

1. 演示目的

定性地验证了伯努力方程所给出流速与压强的关系。

2. 原理

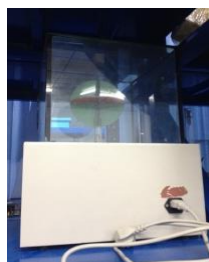
理想流体（完全不可压缩无粘滞）在水平流管中，或在高度差效应不显著的气体中，根据伯努利方程

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = \text{常量}$$

可得在流体中，流速大的地方压强小，流速小的地方则压强大。

当电动机带动旋转体的叶片绕竖直轴旋转时，带动了周围空气也绕竖直轴旋转。环形纸片被空气带动也旋转起来。由于赤道面附近空气绕竖直轴转动的速度大于上下两极的空气转动的速度，由气体流速与压强的关系，则赤道的压强小于两极附近的压强，于是。圆环形纸片旋浮在赤道面上。本实验定性地验证了伯努力方程所给出了流速与压强的关系。

3. 装置



4. 现象演示

接通电源，按压电键，电动机带动旋转体绕竖直轴高速旋转。由于旋转体叶片的旋转带动了周围空气也绕竖直轴旋转，由于旋转气流的作用，环形纸片也被空气带动旋转起来，最后旋浮在旋转体的赤道面上。

[注意事项]

- (1) 隔离罩要放平，工作时请勿打开；
- (2) 环形纸片要轻薄，环形纸片应放在与转轴对称的位置。

5. 讨论与思考：

地球的季风带、信风带是如何产生的？

十一. 音叉

1. 演示目的

观察音叉的振动声放大、共振声放大、拍振动声放大现象。

2. 原理

振动、振动的合成；

音叉的共振现象称为共鸣。如果两个音叉的频率相同，敲击一个音叉发声所激发的空气振动可引发另一个音叉振动发声；如果两音叉的频率不同，则不会有共鸣。

改变音叉的频率，可采用在音叉臂上附加重物的方法，例如滴蜡，绕以铜丝、套橡胶圈等。也可以如本实验，做两个金属套环套在音叉上，金属套环可以移动，并用螺丝固定。调节音叉臂上的金属套环的位置，则可改变音叉的频率，金属套环的质量大小决定音叉频率可改变的范围。若所加的金属套环较重时，在音叉臂上的位置必须保持对称，否则音叉振动会衰减过快。

3. 装置

频率相同的音叉 2 支、金属套环（橡胶圈）、橡皮锤、共鸣箱



4. 现象演示

- (1) 将一支音叉接至共鸣箱，并用橡皮锤敲击音叉，听其振动声。
- (2) 将两支频率相同的带有共鸣箱的音叉 1、2 相对放置（两者相隔一定距离），用橡皮锤敲响音叉 1，使之振动，稍待一会儿随即握住此音叉使它停振，在安静的室内可清晰地听到音叉的声响。这是因为音叉 1 虽已停振，但在停振以前，通过空气振动，已迫使另一音叉 2 振动，因此可听到另一音叉 2 的共鸣声，这时的声响就是音叉 2 发出的。手握音叉 2，声响消失，即可证明。如果两音叉的频率不同，则不发生共鸣。
- (3) 在一支音叉的臂上套一金属环或橡胶环，它的频率会有一微小改变；敲击此音叉，听其声音，移动臂上金属环的位置，听到的声音会不同。将两支音叉平行放置。且共鸣箱口朝向观众。然后同时两支音叉，可以听到周期性的强弱变化的“嗡……嗡……”声，这就是拍现象。调节金属环的位置，可得到最佳效果。

5. 讨论与思考：

十二. 单摆共振演示仪（自制）

1. 演示目的

2. 原理

3. 装置



4. 现象演示

(1)

(2)

5. 讨论与思考

十三. 弦线驻波演示仪

1. 演示目的

演示弦线驻波。

2. 原理

(1) 驻波的形成：驻波是由两列频率相同、振动方向相同、且振幅相等，但传播方向相反的行波叠加而成的。

设两列行波的表达式为

$$\xi_1(x, t) = A \cos(\omega t + \varphi_1 - kx), \quad \xi_2(x, t) = A \cos(\omega t + \varphi_2 - kx)$$

适当选择坐标原点和时间零点，使 φ_1 、 φ_2 均等于零，则表达式变为

$$\xi_1(x, t) = A \cos \omega t, \quad \xi_2(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$$

两行波叠加 $\xi(x, t) = \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t)$

得驻波表达式： $\xi(x, t) = 2A \cos \omega t \cdot \cos kx$

由叠加式知，各质元以同一频率作简谐振动。各点的振幅 $|2A \cos kx|$ 和位置 x 有关，振幅在空间按余弦规律分布。有些点始终静止，这些点称作波节 (node)。波节处，由两列波引起的两振动恰好反相，相互抵消，故波节处静止不动。由 $\cos kx = 0$ 得波节位置 $x = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{4}$ ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$)

两相邻波节间的距离为 $\lambda/2$ 。

有些点振幅最大，这些点称作波腹 (antinode)。波腹处，由两列波引起的两振动恰好同相，相互加强，故波腹处振幅最大。两相邻波腹间的距离亦为 $\lambda/2$ 。

驻波波形曲线分为很多“分段”(每段长 $\lambda/2$)，同一分段中的各质元振动相位相同；相邻分段中的质元振动相位相反。

(2) 实际中驻波的形成

实际的驻波可由入射到媒质界面上的行波和它的反射波叠加而成。

波在固定端的反射 (如一端固定的弹性绳)，反射波有相位突变。反射波和入射波分别引起的边界点的两振动反相，叠加后相消；反射点是波节 (和固定点情况吻合)。

波在自由端的反射，反射波无相位突变。反射波和入射波分别引起的边界点的两振动同相，叠加后加强；反射点是波腹。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 固定弦线；
- (2) 插上电源，打开开关；
- (3) 调节振源频率，观察弦线振动情况，观察波节个数；
- (4) 观察弦线驻波的出现，线上波节数可以为 0 个，1 个等。

5. 讨论与思考

- (1) 弦线波长与波节数的关系

十四. 纵波

1. 演示目的

演示纵波的形成和现象。加深对纵波物理图像的理解。

2. 原理

纵波物理图像的演示较常用的是选用悬挂软簧或悬挂塑料簧，其特点是倔强系数 k 很小，使波速较小，便于演示。它们是真实的纵波而不是模型，下面将简述其原理。

悬挂簧式纵波如图 1 所示。如果悬丝线较长，波的振幅不大，可以忽略悬挂对波速的影响。我们先分析在软簧中存在波时软簧的张力，即波列某一点若断开时，断点两边的相互作用力。设弹簧的倔强系数为 k ，软簧作为一个弹性体，我们只研究其中原长为 Δx 的一小段。设左边对它的拉力为 T_x ，右边 $T_{x+\Delta x}$ ，左端的位移为 u_x ，右端为 $u_{x+\Delta x}$ 。若 $u_x = u_{x+\Delta x}$ ，则表示该小段的平移，本身无伸缩，两边不会有拉力，实际的伸长为 $u_{x+\Delta x} - u_x$ ，当 $\Delta x \rightarrow 0$ 时， Δx 范围可看作是均匀伸缩， $T_{x+\Delta x} \rightarrow T_x$ ，由于 T 与相对伸长成正比，即

$$T_x = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} k \left(\frac{u_{x+\Delta x} - u_x}{\Delta x} \right) = k \frac{\partial u}{\partial x}$$

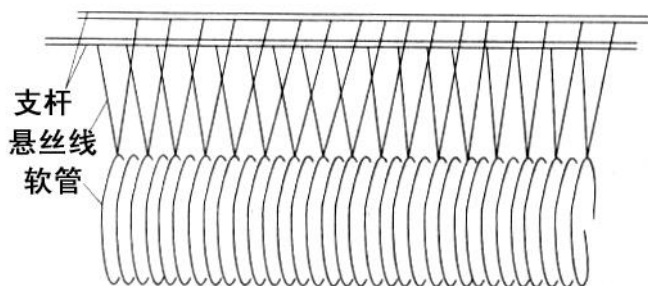


图 1

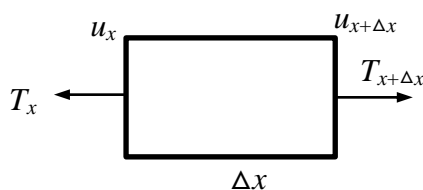


图 2

我们再进一步分析在两边拉力的合力作用下此小元段的运动。由于

$$\Delta T = T_{x+\Delta x} - T_x = \frac{\partial T}{\partial x} \Delta x = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x$$

若此软簧的质量的线密度为 η ，则由牛顿定律得 $\eta \Delta x \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Delta x$

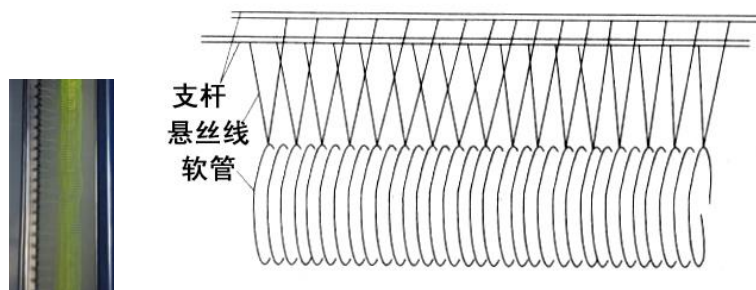
即
$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{k}{\eta} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

这就是纵波的波动方程，波速为 $c = \sqrt{\frac{k}{\eta}}$

方程的解为 $u(x,t) = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) + B \right]$

其中， A, B 为积分常数。该式就是纵波的表达式。之所以选用软簧或塑料簧，在于它的 k 较小，从而使波速 c 较小，当有纵波在弹簧中传播时，疏部及密部行进较慢，便于观察。通常将它的一端与一个振子相连，振子振动作为波源，激发纵波在软簧中传播。另一端固定或完全自由时会出现驻波；若能完全吸收波的能量，则可演示行波。若波的振幅较大，则悬线也将对波动产生影响，它将增大，使波速略有增加。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 给一个初始振动幅度，手拉弹簧端的振子，放手令它自由振动，细弹簧在它的激励下产生纵波向另一端传播，即可观察纵波疏部和密部的运动。弹簧形成波峰和波谷的纵向传播。

- (2) 演示弦线驻

注意事项：

- (1) 软弹簧纵波仪的软弹簧极易缠绕在一起，使用或搬动时要格外小心，防止出现这种情况。
- (2) 启动弹簧端的振子时不要波动幅度太大。

5. 讨论与思考

- (1) 波的传播为振动的传播。

十五. 驻波共振演示仪

1. 演示目的

演示圆驻波的共振。

2. 原理

调节起振频率，使金属环形成驻波。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 接通电源；
- (2) 调节频率，观察驻波形成；
- (3) 观察频率对波节数目的影响。随着频率的调节，驻波波节数目改变。

5. 讨论与思考

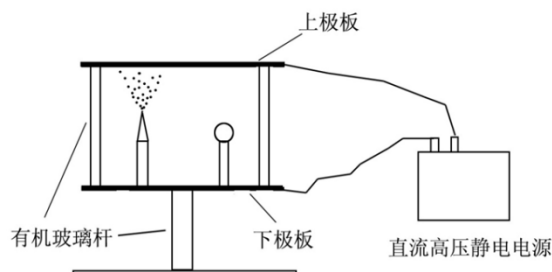
- (1) 频率的高低对波节数目有何影响？

十六. 避雷针

1. 演示目的

演示避雷针的工作原理。

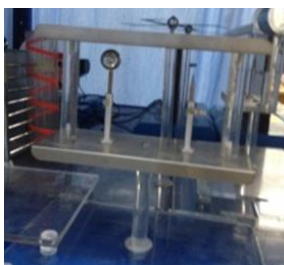
2. 原理



避雷针通过尖端放电产生的电晕把大量的静电电荷释放到空间,使建筑物和云层间积累的静电高压降下来,从而避免了瞬间的强烈放电现象(即雷击),保护了建筑物。

3. 装置

避雷针演示器(见图1)、高压静电电源。



4. 现象演示

- (1) 把高压静电电源的两极分别与避雷针演示实验装置的上下极板连接(见图1),打开高压静电电源并逐步缓慢地提高电压,在演示装置的避雷针尖端就会产生电晕放电,大量的电荷被从尖端释放出去,避免了强烈放电的雷击现象。若此时用一块有机玻璃板隔在避雷针和上极板之间,由于尖端放电被阻止了,于是代表建筑物的圆球和上极板间就会产生强烈放电现象,雷击就发生了。

【注意事项】

- (1) 做这个实验时静电电源的电压不宜调得过高,只要在用有机玻璃挡住避雷针尖端放电时能使圆球顶部放电即可。
- (2) 由于电源电压较高,关闭电源后,故应取下电源任一极接头,与另一极接头相碰触人工进行放电,以确保仪器设备和操作者的安全。
- (3) 晴天演示电源电压应降低些,阴天演示电源电压应提高些。

5. 讨论与思考

十七. 尖端放电风吹蜡

1. 演示目的

演示尖端放电形成的电风吹灭蜡烛的现象。

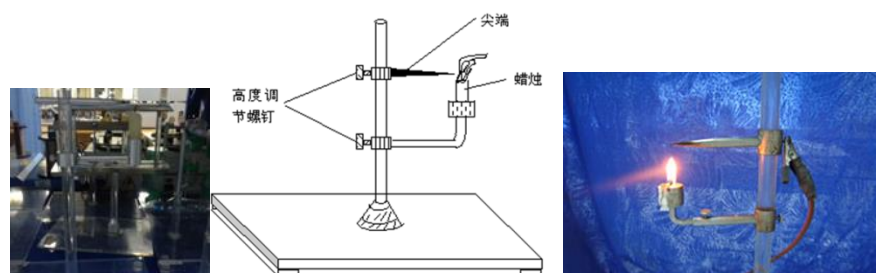
2. 原理

由于导体尖端处电荷密度最大，所以尖端附近场强最强。在尖端附近强电场的作用下，使尖端附近的空气中残存的带电粒子发生加速运动，并获得足够大的能量，以至这些被加速的离子与空气分子相碰撞时，能使空气分子电离成电子和离子，这些新电子和离子与其它空气分子碰撞时，又能产生大量新的带电粒子。与尖端上电荷异号的带电粒子受到尖端电荷的吸引而趋向尖端，而与尖端上电荷中和；与尖端上电荷同号的带电粒子受到排斥而从尖端附近飞开，受到排斥而飞向远方形成“电风”，把靠近的蜡烛火焰吹向一边，甚至吹灭。

实验中，不断给导体充电，可防止尖端上的电荷因中和而逐渐消失，使“电风”持续一段时间，便于观察。

3. 装置

电风演示仪，如图 2 所示，蜡烛，直流高压静电电源，针形导体。



4. 现象演示

- (1) 将安装在绝缘架上的针形电极用导线与直流高压电源相连，把蜡烛放在演示仪的蜡烛台上，点燃蜡烛。将放电尖端对准火焰，高压电源的一极接在放电尖端的另一边，开启高压电源，注意观察蜡烛火焰。演示后，关闭电源。

【注意事项】

- (1) 火焰能否吹灭，与外接高压高低有关，可视“电风”情况，逐渐加大高压直至吹灭蜡烛火焰。
- (2) 演示时注意放好蜡烛与尖端的相对位置。
- (3) 由于电源电压较高，关闭电源后，故应取下电源任一极接头，与另一极接头相碰触人工进行放电，以确保仪器设备和操作者的安全。
- (4) 晴天演示电源电压应降低些，阴天演示电源电压应提高些。

5. 讨论与思考

十八. 静电滚筒

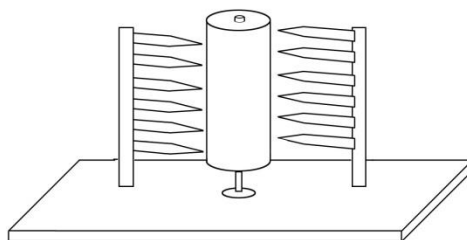
1. 演示目的

演示静电电风使滚筒转动的现象。

2. 原理

3. 装置

静电滚筒（见图 4）、高压静电电源。



4. 现象演示

将两排带尖端放电针的电极分别接高压静电电源的正负极，当高压电源打开时，这两排放电针的尖端分别将空气击穿，产生离子风。在这两排放电针的中间有一个可转动的绝缘滚筒，当离子风吹到滚筒上后，与放电针带有同种电荷的滚筒的一侧受静电排斥力的作用，将远离这排放电针并受另一排放电针的吸引，向另一边靠拢。这个过程不断地继续，使滚筒旋转起来。

【注意事项】

- (1) 滚筒旋转的起动电压约几千伏，转速快慢与外接高压高低成正比。
- (2) 由于电源电压较高，关闭电源后，一定要人工进行放电，把两极相碰触，确保仪器设备和操作者的安全。
- (3) 晴天演示电源电压应降低些，阴天演示电源电压应提高些。

5. 讨论与思考

- (1)
- (2)

十九. 静电摆球（平板电容器间静电现象）

1. 演示目的

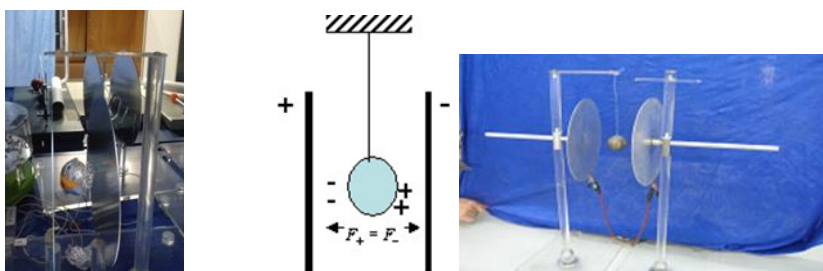
通过这个有趣的演示实验，进一步理解静电感应及带电体之间的相互作用。

2. 原理

打开电源时，涂有金属层的乒乓球的两半分别感应出等量的异号电荷（如图所示），由于球面上正负电荷分布的相似性，乒乓球受正极板的吸引力 F_+ 和受负极板的吸引力 F_- 相等，乒乓球仍处在中央位置。当用绝缘棒迫使乒乓球接触正极板时，其上的负电荷被中和掉，留下正电荷，并有更多正电荷从正极板移到乒乓球上。由于同种电荷相斥，乒乓球被推向负极板。乒乓球接触到负极板时，其上的正电荷被中和掉，负电荷又从负极板移到乒乓球上，它又被推向正极板。这样循环往复。

3. 装置

一个竖直悬挂起来的表面涂有金属层的乒乓球，放在平行板电容器的电场中。



4. 现象演示

打开电源，乒乓球仍处在中央位置。用绝缘棒使乒乓球接触正极板后，立即拿开绝缘棒，乒乓球被来回地推向负极板和正极板，循环往复。关闭电源，振荡逐渐减缓，最终停止。

5. 讨论与思考

(1) 若乒乓球的表面未涂金属层，仍能观察到此现象吗？

二十. 安培力演示仪

1. 演示目的

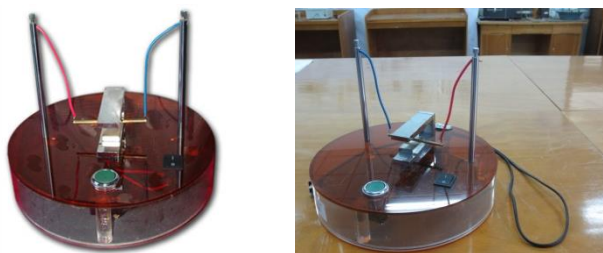
观察载流直导线在磁场中的受力情况,验证载流直导线在磁场中的受力方向与磁场和电流的关系,即满足安培定律。

2. 原理

载流导线在磁场中会受到力的作用,称为安培力。载流线元 $d\vec{l}$ 在磁场中的受力为 $d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B}$ 。一段导线受到的安培力为 $\vec{F} = \int I d\vec{l} \times \vec{B}$ 。对于直导线安培力的大小与方向由下式确定 $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$,当电流方向与磁场方向垂直时,电流受到最大的安培力 $F = I l B$ 。

本实验在磁场中用一段直导线作载流导体,通电后用载流直导线的运动来演示导线受到的安培力。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 将一段铜导线接在闭合回路中,并悬挂在磁铁的两个磁极间,使导线处于垂直磁力线的方向。
- (2) 接通电源,发现铜导线受到的安培力垂直于电流和磁场方向。
- (3) 开启电源,改变电流方向,导线受到的安培力反向(换向频率不要太快)。

注意事项:

- (1) 低压大电流电源不宜长时间连续工作,防止输出端过热或烧毁电源。
- (2) 换向开关设 I、0、II 档位,暂不用时应关断电源。

5. 讨论与思考

- (1) 如果在电路中通入交流电,铜导线将如何运动?

二十一. 法拉第电磁感应实验（开、闭环）

1. 演示目的

2. 原理

3. 装置



4. 现象演示

(1)

(2)

5. 讨论与思考

(1)

(2)

二十二. 楞次跳环及涡流热效应

1. 演示目的

演示涡流的机械效应及热效应。

2. 原理

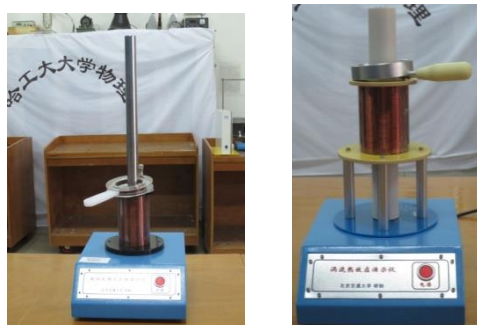
通过螺旋管的电流为交流电，在线圈内产生变化的磁场，其大小和方向都在不断变化，使得穿过套在其铁芯上的铝环的磁通量发生不断的变化，铝环中产生感应电动势。

对于闭合铝环来说，其中会产生感应电流（涡流），根据楞次定律感应电流产生的效果总是反抗引起感应电流的原因，铝环整体受到向上的安培力作用，从而跳起。

而对于有开口的铝环，可以看作是非闭合回路，其中没有感应电流（实际上其中也存在涡流，只是电阻较大，电流较小）所以有开口的铝环不会跳起。

3. 装置

跳环式楞次定律演示仪、涡流热效应演示仪。



4. 现象演示

- (1) 将闭合铝环套在螺线管的铁芯上，接通电源。在闭合电源瞬间，铝环向上跳起，关闭电源。
- (2) 取出闭合铝环，将有开口的铝环套在螺线管上，接通电源，开口铝环静止不动。
- (3) 将闭合环形容容器内加少量的水，置于螺线管的铁芯上，接通电源。容器悬浮在铁芯上，片刻后水沸腾了，这就是涡流的热效应。
- (4) 将一个串有灯泡的回路套在线圈上，由于通过回路的磁通量不断变化，根据法拉第电磁感应定律，回路中会形成感应电动势及感应电流，故小灯泡发亮。

5. 讨论与思考

- (1) 闭合的铝环为何会悬浮在铁芯上？
- (2) 跳起的闭合铝环会发热么？

二十三. 磁 阻 尼 摆

1. 演示目的

演示感应涡电流的一种机械效应。

2. 原理

在磁场中运动的导体，由于电磁感应，在大块导体内将产生涡电流。根据楞次定律，涡电流在磁场中受到的安培力总是阻碍导体的运动，这就是电磁阻力。装在摆上的导体片在磁场中摆动也要受到这种电磁阻力，这就是电磁阻尼。改变导体片的结构，可使涡电流减少，进而阻尼力也将减少，本实验演示的就是这种现象。

由金属板做成摆锤的单摆，当摆动过程中摆锤在蹄形磁铁两磁极间往复通过时，对摆锤的每一局部范围而言，磁通量发生变化，因而产生感应电动势——感应电流，这就是涡电流，按照楞次定律，涡电流的磁场与原磁场的作用，阻碍摆锤的运动。这就是电磁阻尼作用。若是开口的摆锤，涡电流减小，阻尼作用也减小。

3. 装置



4. 现象演示

- (1) 把阻尼摆线圈连接到低压大电流电源上，暂不开启电源开关。
- (2) 阻尼摆线圈先不通入励磁电流，使阻尼摆在两磁极间摆动，观察摆的自由摆动情况。可以看到，阻尼很小，摆要经过相当长的时间才停止下来。
- (3) 开启电源开关，接通励磁电源（12V），则在两磁极间产生很强的磁场，重复实验步骤 1。当阻尼摆在两磁极间左右摆动时，由于电磁感应，会在阻尼摆铜片内产生感应电流。根据楞次定律，感应电流的方向总是使它受到阻力，现在，引起感应电流的原因来自摆的摆动，因此感应电流必使摆受到阻尼力，结果，摆动迅速停止。
- (4) 换作带有许多隔槽的铜片作摆片，重复实验步骤 2 和步骤 3，观察摆动的阻尼情况，进行比较。有许多隔槽的铜片作摆片使得涡电流大为减小，从而使阻尼作用不明显。可以观察到其摆仍可以摆动较长时间才停止。

(5) 实验完毕，关断电源开关，拆除连接线，使仪器复原。

注意事项

(1) 实验前，先调节磁极位置，使铜摆片处在磁极中间离磁极较近但不接触磁极。

(2) 实验完毕后，要立即关断电源开关，防止电源发热烧毁。

5. 讨论与思考

(1)

二十四. 阻尼管（涡旋电场）

1. 演示目的

演示。

2. 原理

演示。

3. 装置



4. 现象演示

(1) 演示

(2) 演示

5. 讨论与思考

(1) 演示

(2) 演示

二十五. 涡电流的热效应、阻尼效应、电磁驱动

1. 演示目的

演示涡电流的热效应。

2. 原理

当线圈通以交流电时，穿过闭合环槽中的磁通变化，由楞次定律及互感现象，环槽中形成涡旋电场，产生涡旋电流，若槽中放有固态的蜡，则涡电流的热效应将使蜡溶化。

3. 装置

含铁芯线圈、闭合铝环槽、蜡烛、交流电源。



4. 现象演示

- (1) 通电后，环槽中的涡流产生热效应，使环槽发热，结果观察到蜡在环槽中溶化。

5. 讨论与思考

- (1)
- (2)

二十六. 电磁波发射、接收演示仪

1. 演示目的

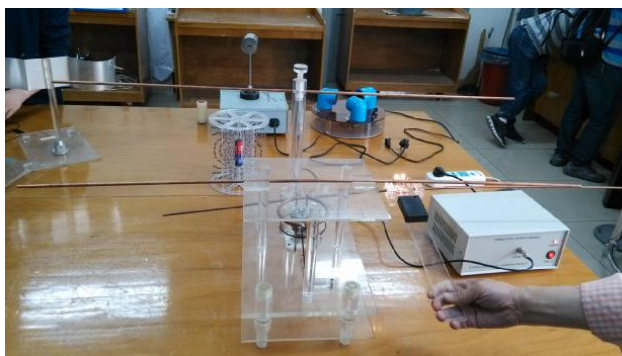
演示电磁波的发射、接收和趋肤效应。

2. 原理

演示弦线驻波。

3. 装置

电源、两根细铜管、天线、小灯泡、电池。



4. 现象演示

- (1) 将电源和有机玻璃发射架连接好，在后侧有机玻璃棒和前面有机玻璃板上分别放上细铜管，作为反射天线。打开电源开关，发射架即向空中发射电磁波。

圆形天线接收的是磁场信号，当其位于底部圆形发射天线的正上方时，通过其截面的磁通量最大，产生的感生电动势最大，灯泡最亮；当其截面与发射天线截面相垂直时，通过其截面的磁通量几乎为零，小灯泡亮度最暗，甚至不亮；调整发射与接收天线的相对角度，会观察到小灯泡的亮暗变化；电磁波的发射功率随着距离的平方衰减，当接收天线远离发射天线时，小灯泡亮度逐渐变暗。

直接接收天线接收的是变化的电场信号，若没有在有机玻璃板上放置直铜管，接收天线上的小灯泡也会亮，但相对较暗；放置直铜管以后，相当于放了一个发射源，小灯泡的亮度显著提高；调整接收天线的长度，小灯泡的亮度会发生变化，理论上当发射天线与接收天线的长度相等时，共振最强，灯泡最亮；旋转直天线，小灯泡的亮度周期性变化，当两个天线平行时，亮度最大，垂直时亮度最小。

- (2) 演示趋肤效应的接收天线上有两个小灯泡，一个连接在两侧铜管的外部，另一个连接在两侧铜管的内侧。两个小灯泡同时并联在接收天线上的电池两极，空气中没有电磁波时，打开接收天线上的开关，两者亮度相同。断开接收天线上的开关，空气中存在电磁波时，两个灯泡的亮度不同。

【注意事项】

当心发射架底部电路存在高压。

5. 讨论与思考

- (1)