

《第一届全国高等院校物理演示
实验教学经验交流会》文集

物理演示实验

(下 册)

北 京

1 9 8 5 . 1 2

目 录

第四部分 电磁学演示实验

多功能静电演示仪的研制	王克起 等 (373)
静电库仑定律演示仪	李明征 (376)
油品输送过程的静电现象演示器	
.....	韦绍律 等 (380)
尖端放电现象的演示实验	刘贵兴 (383)
二电子束间电力大于磁力的演示	梁竹健 (389)
一种新型的电流相互作用演示仪	
.....	尤烈之 等 (393)
电流的绝对测量	高守双 等 (396)
安培环路定律演示装置	钱泽均 等 (402)
自感现象演示	许少杰 (405)
霍尔效应示教板	钱泽均 等 (406)
趋肤效应的演示	郭 一 等 (408)
软磁材料音频动态磁滞回线显示仪简介	
.....	房德慧 等 (412)
电磁感应现象的演示	孙杭嘉 (414)
动力电动势的激光演示	蔡学军 (417)
自激静电感应起电机	贾兆平 等 (422)
线性感应电动机演示仪	陈 孔 等 (428)
模拟电偶极子演示装置	白荣镇 等 (432)
电磁波特性和演示仪	钟胜福 等 (434)

LSW—1型磁光调制式激光通讯演示装置	范汝盐 等 (521)
钠的吸收光谱的观察	朱凤德 等 (526)
光声效应	黄孟才 等 (527)
激光多普勒效应演示仪	彭志平 等 (534)
光的相速和群速的模拟实验	罗庚荣 (536)
关于光具组的基点、基面的演示实验	杨宝硕 (539)
测距仪原理演示说明	杨宝硕 (541)
液晶电光效应演示器	陈茂定 等 (543)
旋光式光学综合实验仪	苏州大学 (547)
光纤扫描式干涉、衍射花样强度分布测定装置	刘祖音 等 (548)
电子衍射仪	盛定远 等 (549)
双折射现象演示仪	陈名正 等 (549)
会聚偏振光干涉演示仪	吉林大学 (550)
声—光调制演示装置	陈秀玲 (551)
光瞳演示仪	王秉超 等 (553)
透镜像差演示仪	陈名正 等 (554)
对切透镜演示装置	王秉超 等 (555)
θ调制演示实习实验	王秉超 等 (563)
网格实验	王秉超 等 (566)
空间滤波与图象处理	王 钢 (567)
“等密度假彩色编码”演示实习实验	王秉超 等 (568)

资料的储存及重视	王 钢 (573)
光电效应	全志义 (574)
黑和白表面热吸收性能的比较	全志义 (575)
附录 物理学电教软件	(578)
补遗 断路自感现象的演示	侯华生 (622)

第四部分

电磁学演示实验

多功能静电演示仪的研制

天津大学物理系 王克起 罗大章

我们设计并制造的多功能静电演示仪,经过试用证明,该仪器具有灵敏度高,重复性好,操作迅速简便,可靠性强,演示效果直观明显的特点。

一、本仪器有如下功能:

1. 作静电验电器 2. 演示光电效应 3. 演示电介质的极化
4. 演示平板电容器的有关内容(如公式 $C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$ 中 $C \sim d$ 、 $C \sim S$ 、 $C \sim \epsilon_r$ 间关系的演示)、5. 演示外力克服电场力的功变为电场能量的增加、6. 演示电介质对电位差的影响、7. 演示“静电乒乓”现象、8. 演示静电屏蔽、9. 演示感应起电……。

二、本仪器的研制简介:

本仪器由机头(操作部分)、机身(显示部分)、机座(电源部分)组成。高灵敏度的显示部分、高的抗漏电性能和独特的多功能的机构设计形成该仪器的风格和特点。

1. 本仪器关键零件是静电计的指针。明显的显示效果要求指针适度的大,但由此将引起灵敏度的下降,为此,在指针的制作中采用厚0.08毫米、长280毫米、宽5毫米的铝箔,并在中部有半径为0.5毫米的加强筋,兼顾了指针大、刚度强、灵

灵敏度高的特点。同时恰当地选择了重力矩和静电斥力矩间的关系，保证了本仪器灵敏度。

2. 为使仪器具有高绝缘性能，采取了特殊的结构和措施，获得很好的效果。

3. 本仪器备有电介质模型、厚木板、涂石墨乒乓球、玻璃、紫外灯、铜网等附件。

三、演示内容及简要说明：

1. 光电效应：首先使铜网带正电（用毛皮摩擦过的有机玻璃棒使网带正电即可）。(1) 当锌板不带电而用紫外光照射时，指针迅速张开，经验证锌板已带正电。(2) 使锌板带负电而用紫外光照射时，则指针先闭合而后张开，经验证锌板已带正电。(3) 使锌板带少量正电而用紫外光照射时，则指针张角继续张大，经验证锌板已带正电。以上三个演示都证明了光电效应的理论。在上述各演示中，把玻璃置于灯、网间则指针均不动作，说明玻璃有隔紫外光作用。

注意：在演示光电效应时，必须用细砂纸擦光锌板表面以保持其表面光洁新鲜。使锌板带电只用丝绸或毛皮摩擦过的有机玻璃棒使之带正电而用毛皮摩擦过的胶木棒（或硬塑料棒）使之带负电即可。使铜网带正电，只用丝绸或毛皮摩擦过的有机玻璃棒使之带正电即可。当然，使用起电机使网带正电效果更好。

2. 当锌板带正电，将一接地的可动铝板向外拉离锌板时，指针张角变大（电荷 Q 不变），说明外力克服电场力的功转变为电场能（静电能）的增加。

3. 电容器两板加高电势差（用起电机使二板带电较好），用泡沫塑料切成的小长条（电介质）在强电场作用下发生取向极

化现象，演示了电介质在强电场中的极化现象。

4. 可演示 $C = \epsilon \epsilon_r S / d$ 、 $Q = CV$ 关系（ Q 不变）。

用手接触铝板，用毛皮摩擦过的有机玻璃棒使锌板带正电后，手离开铝板，此时静电计有一张角。当

S 改变：使锌板绕轴转动一个角度，使两板重叠面积 S 减小，则指针张角变大。这是因为电荷 Q 不变，而 S 变小，则 C 变小，据 $Q = CV$ ，则 V （两板电势差）变大的结果。

d 改变：沿滑道向外拉铝板， d 增加，指针角度变大。这是因为 Q 不变，而 d 增大 C 变小，据 $Q = CV$ ，则 V 变大的结果。

ϵ_r 改变：使厚木板加入两板间，则指针张角变小。这是因为 Q 不变，由于木板加入，使两金属板间 ϵ_r 变大，据 $Q = CV$ ，则 V 变小的结果。

5. 用丝线悬挂一涂石墨的乒乓球，置于具有较高电势差的两板间，可看到乒乓球在两板间来回迅速运动，并且，静电计指针逐渐变为零，演示了“静电乒乓”现象。本现象还可这样演示：用带正电的有机玻璃棒迅速移近铝板，则可看到乒乓球在两板间来回运动，棒不动，则球不动。如棒迅速移开，球又来回运动，而后慢慢停止运动。

6. 当带正电的有机玻璃棒接近验器金属球时，则指针有一很大张角。如球外套一接地的与球不接触的金属网时，则无论带正电的有机玻璃棒与金属球如何靠近，甚至与金属球接触，指针也不张开，演示了“静电屏蔽”现象。

7. 当带正电的有机玻璃棒靠近验电器上部锌板时（锌板是可拆卸的），则指针有一很大张角（约 80° 左右），再用指尖接触锌板后离开，此时张角为零，而后移开有机玻璃棒时，则指针

迅速张开一很大角度，演示了感应起电现象。

还可演示避雷针原理、静电置绒、电荷分布于导体外表面等现象，恕不一一列举。

静电库仑定律演示仪

使用了新的材料和结构原理——

广西师大物理系 李明征

一、原库仑定律演示存在的问题：

在使用扭摆实践中，迁到下列困难：

1. 点电荷问题——实验用扭摆应有防风罩，点电荷要求带电体小而二者距离要长，这就使带电体较接近罩壁时电荷之分布会变化，因而距离受限制；如带电体为很小的金属球，则带电量相对减少，因而斥力变小至现象不显。2.

2. 斥力演示问题：

(1) 斥力方向问题——扭摆是在罩内进行，两带电体距离稍远，斥力方向就与横杆不垂直，则是分力在起作用，现象不会明显，不直观，使关系复杂化。

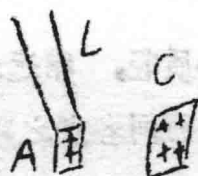
(2) 静止不易——扭摆中支持检验电荷之结构并不轻，斥力小不易推动，一经推动又不易静止。

3. 防干扰问题——罩内两带电体之距离为符合电荷要求，其附近不能有其它物。否则斥力会受干扰，下述实验证明必须密切注意：

右图中C附近置物E后，

棉线L偏角变小。

右图中C对A有斥力，对棉线L有引力，从而使线与A成折线。

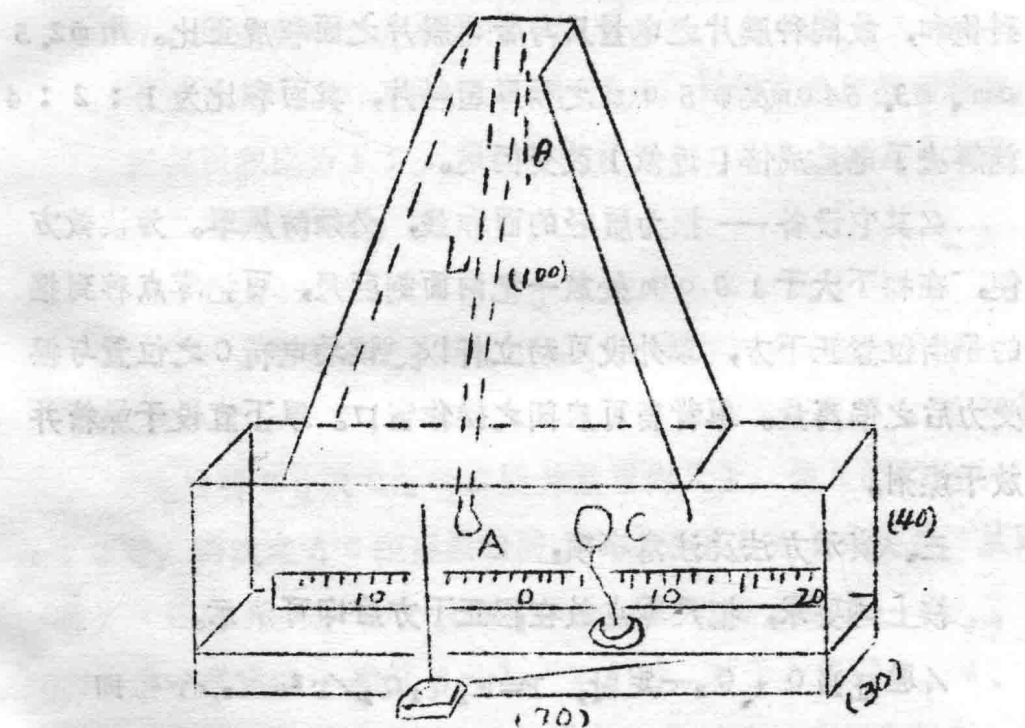


此外，带电体吸微小物时，在小物上感生之两种电荷，其距离对带电体与小物之距离可谓极小，但吸力大于斥力仍很可观，才能迅速吸过来。这些干扰就必须很好处理。

4. 电量成倍变化问题——用两等大球导体相接触而平分电荷，而仪器之环境不易做到点对称，以及球体大小形状难于一致，故对平分也只能是近似；一经平分电量就少，能否适应演示要求？

经实践探索，逐渐发现只有利用新材料制摆式结构才能克服上述困难，作好演示。

二、仪器之结构原理与困难之克服



仪器之结构如图，困难克服的方法是：

1. 点电荷的解决——塑料质轻，绝缘性能好，经摩擦后所带之束缚电荷分布均匀而不会变化；用两小平行面带电作演示，

因面小质轻，稍远之距离也能推动；且电场基本是点对称而发散的。两面间各点之距离误差也较小，故符合点电荷演示要求。

2. 如何测量斥力的大小——用 $\phi 2-3\text{ cm}$ 的带电塑料薄膜（重不到 0.25 g ），用能带同种电的细塑料线作双线悬摆为检验电荷A，摆L长 100 cm ；用圆形带电塑料片作场电荷C，则摆之偏离平衡位置可达 10 cm ，运动稳定（膜有阻尼作用，不会反复摆动），当摆角在 5° 以内时，还可认为斥力 F 大小与摆动弧长 S 成正比。

$$F = mg \sin \theta \approx mg \theta = mg S/L = k_1 S \quad (a)$$

3. 电量成倍改变问题——在相同的环境条件下，对同种膜片摩擦而带电，同时擦到 $8-10$ 次后，其束缚电荷之面密度要达到饱和，故同种膜片之电量只与带电膜片之面积成正比。用 $\phi 2.5\text{ cm}$ 、 $\phi 3.54\text{ cm}$ 及 $\phi 5\text{ cm}$ 之稍厚塑料片，其面积比为 $1:2:4$ ，就解决了电量成倍（近似）改变问题。

4. 其它设备——摆为质轻的面和线，必须防风罩。为读数方便，在摆下大于 10 cm 处放一把两面刻度尺，可把零点移到摆的平衡位置正下方，罩外设可动立杆以便读场电荷C之位置与摆受力后之偏离量。罩背留可启闭之操作窗口。罩下宜设干燥箱并放干燥剂。

三、演示方法及注意事项：

按上述要求，把尺零点放在摆正下方后即可演示。

1. 验证当 Q_1, Q_2 一定时， $F = k_2 Q_1 Q_2 / r^2 = k_3 / r^2$ ，即 $F r^2 = k_3$ ；但 $F = k_1 S$ ，故 $F r^2 = k_1 S r^2 = k_3$ ，实验证明 $S r^2 = k$ ，则 $F \propto 1/r^2$ 。

(1) 用毛刷（或清洁干燥之手）擦A与C使带电，为任一组

不变之 Q_1 及 Q_2 。

(2)使C在罩内(或尽量靠近罩壁),然后徐徐向A移动,取A被斥离开平衡位置之距离S分别为1 cm, 4 cm, 9 cm,则按前述,A所受斥力比为1:4:9,并记下C的相应位置,例如为17, 5, -3(C过零位记为负值),则AC之距离r就分别为(17+1); (5+4); (-3+9)=18, 9, 6。

(3)据实测数据,可总结当 Q_1 、 Q_2 一定时,有 $Sr^2 = 1 \times 18^2 = 4 \times 9^2 = 9 \times 6^2 = 324$

由此可见 $F \propto 1/r^2$:

2.验证当r及 Q_1 一定时, $F \propto Q_2$

用改变C之大小进行;如用 $\phi 2.5$ cm及 $\phi 3.54$ cm(或 $\phi 3.54$ cm及 $\phi 5.0$ cm)膜片,同样充分摩擦而带电,因其面积比为1:2,则带电量为 $Q:2Q$;如AC之距离二次同为r时,有

F_1 为 $Q_1(A)$ 受 $Q(C_Q)$ 之力, Q_1 偏移 S_1 ;

F_2 为 Q_1 受 $2Q(C_{2Q})$ 之力, Q_1 偏移 S_2 ;

则应有 $F_1:F_2 = Q:2Q = 1:2 = S_1:S_2$ (b)

先后将 C_Q 及 C_{2Q} 二膜片放罩内尺上,使A偏离比为1:2时,两次之AC距离应相同。即验证了(b)式关系,从而有 $F \propto Q_2$ 。同理,如r及 Q_2 一定必有 $F \propto Q_1$,故 $F \propto Q_1 Q_2$ 。

3.一点建议——验证 $F \propto 1/r^2$ 时,对于A偏离1、4、9,C位置的读数、及计算r与 Sr^2 值,最好列一分组数据表,供演示时参考,看S为1、4、9时,C之位置接近那一组。

当 $Q_1 Q_2$ 一定, $F = k_2 Q_1 Q_2 / r^2$, $F = k_1 S$ 的 $Sr^2 = k$ 有关数据表

C之位置 r		数据组别											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A 偏 高 数	1	10 /	11 /	12 /	13 /	14 /	15 /	16 /	17 /	18 /	19 /	20 /	21 /
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	4	1.5 /	2 /	2.5 /	3 /	3.5 /	4 /	4.5 /	5 /	5.5 /	6 /	6.5 /	7 /
		5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5	11
S = T / k ₁ (cm)	9	-3 /	-5 /	-4.7 /	-4.3 /	-4 /	-3.7 /	-3.3 /	-3 /	-2.7 /	-2.3 /	-2 /	-1.7 /
		3.7	4	4.3	4.7	5	5.3	5.7	6	6.3	6.7	7	7.3
Sr ² 值		121	144	169	196	225	256	289	324	361	400	441	484

油品输送过程的静电现象演示器

华东石油学院物理教研室 韦绍律 黄启钧

讲授静电学时，石油院校各专业常以油气输送过程中产生静电现象为例子。但缺乏演示教具，课后同学印象不深，为增加学生的感性认识，我们制作了“油品输送过程的静电现象演示器”。现将本演示器的实验内容作简要介绍。

一、实验原理

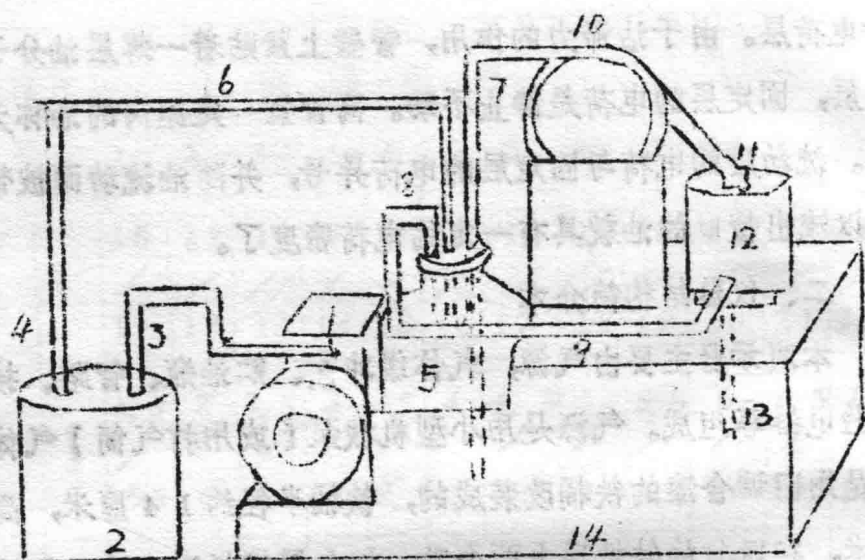
不同固体之间摩擦时产生的静电现象已为众人所知。但对于液体和固体之间摩擦时产生的静电现象就很不熟悉了。油在管路里流动时，由于油与管壁摩擦，在其交界面处也同样形成等量异

号电荷层。由于沾滞力的作用，管壁上紧贴着一薄层油分子称固定层，固定层的电荷是静止不动。离管壁一定距离的油称为流动层。流动层的电荷与固定层的电荷异号，并随油流动而被带走，所以流出管口的油就具有一定的电荷密度了。

二、仪器结构简介

本演示器主要由气源，气体缓冲器、贮油瓶、管路、接收罐和验电器等组成。气源是用小型机械泵（或用打气筒）气体缓冲器是用旧调合漆的铁桶改装成的，铁桶半径约14厘米，高约34厘米，在密封的铁桶顶上两个孔，把金属管插进孔里，用焊锡焊接好。这两个孔分别做为进气口和出气口，出气口带有阀门。贮油瓶用玻璃瓶做成，其容量约二升，瓶口用橡皮塞密封，橡皮塞上开三个小孔，分别做进气口，出油口和回油口。用内径为0.6厘米的铜管通过这三个小孔插进瓶里。进气口和回油口的铜管插进瓶里和油面相通即可，但不要接触到油面。出油口的铜管插到油瓶底面，油通过这个口流进管路。另外，橡皮塞接触到汽油时易于溶化，可在橡皮塞底部涂一薄层502胶。管路用内径为0.6厘米，长为125厘米的铜管在直径为10厘米的圆轴上绕成螺旋式。为提高起电效果，管路的出油口加上丝绸过滤布。接收罐用铁皮弯成圆柱桶，底面密封，在离底面约0.5厘米处开一小孔，用金属管插进孔里用焊锡焊接好，其体积略比贮油瓶小。验电器安装在绝缘支架，使接收器恰好放在板板上即可。

（图见下页）



演示器各口之间的衔接均用橡皮管。油品用无铅汽油。

三、起电演示过程

接本装置连接好后，将管路接地，使附在管壁上的电荷流入大地，减少与油品的电荷复合。先将气体缓冲缶的出气口和贮油瓶的回油口关闭，然后向缓冲缶里充气，当缶里的压力大约为1.5大气压时，打开出气口，这时油被压进管路经管口流出。油在管路里流动时与管壁摩擦产生电荷，且带着和管壁异号电荷随油流进接收缶，在接收缶里积累起电荷。在本装置中，管路的长短、油的电导率、接收缶的电容量和放电电阻都确定的情况下，产生电荷的多少就取决于油在管路里流动的速度，速度愈快，产生的电荷愈多。当油流速达到7米/秒左右，用静电电压表测量电压在九千伏左右，验电器的锡箔张开角度大约为30度。

利用本教具的起电现象，配合其它装置和测量仪器可以进一步定量做流速、管长等与起电的关系，这方面的工作有报导，这里不作介绍。

尖端放电现象的演示实验

复旦大学物理系 刘贵兴

为了演示尖端放电现象，我们自制了一种教具——静电电动机。它不仅形象地演示尖端放电现象，同时也可以演示接地导体的静电感应现象以及电荷之间的相互作用。本教具的特点是容易自制，实验现象明显，富有趣味性。解释现象所需要的知识是静电的基本知识，因此课堂演示的教学效果好，并可以供学生课外兴趣小组进行自学试验。

一、教具的制作

取一块极薄的有机玻璃板制成两块直径为10厘米左右的圆片，其中一块中心钻一小孔，装一枚铁钉，另一块中心钻一直径为1厘米的孔，截一张长为31.5厘米，宽为24厘米的长方型涤纶薄膜（聚脂薄膜）片将其卷成圆筒，将两块有机玻璃圆板用502胶水粘在涤纶薄膜两端，并且用玻璃胶水纸将涤纶薄膜连接处粘住，这样就成为一只空心圆柱，它是一个良好的绝缘体，它是一根直径1.5毫米，长26厘米的黄铜棒将其一端磨成尖针，另一端固定在铁支架上。将上述空心圆柱体套在黄铜棒的针尖上，成为一只转子，如图1所示。要求空心圆柱体转子能灵活、自由地旋转。取一块面积为 25×25 厘米²、厚为0.5厘米的木板，在木板底装四只橡皮脚后，成为一只底座。

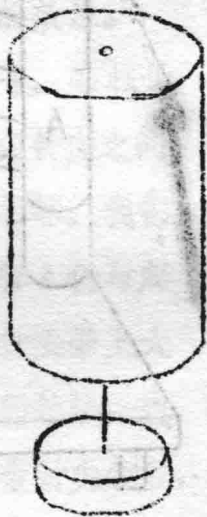


图 1

取一根直径为 1 厘米的有机玻璃棒，做四只柱子，其尺寸大小和外型如图 2 a 所示；在有机玻璃下端有螺纹，用螺钉将它固定在木板上。另外取四根铜管，其尺寸如图 2 b 所示，在管上焊有 5~6 根长，3~5 厘米的金属尖针（黄铜或铜），钢管刚好能套在有机玻璃柱子上，并且稍用力可以转动钢管。

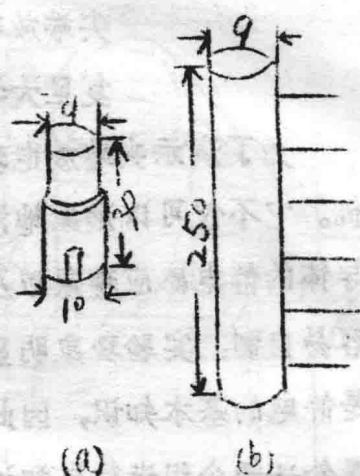


图 2

二、演示内容及方法

1. 将上述的转子放在木板底座中间，将有机玻璃柱子用螺丝固定在木板底座上（木板底座上事先钻好小孔）。将焊有针尖的

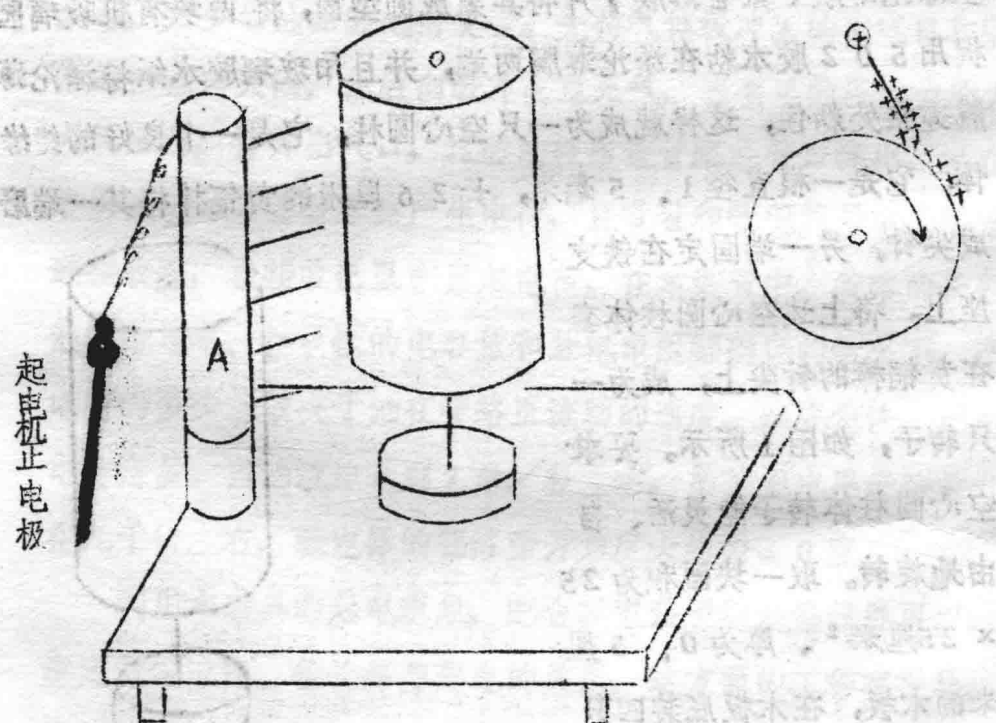


图 3 (a)

图 3 (b)

铜管 A 套在有机玻璃柱子上，使针尖指向转子的切线方向，针尖离开转子的间隔约 1 厘米左右，如图 3 a 所示。用导线将铜管和静电感应起电机的正电极相连接。当转动静电感应起电机，使铜管上针尖带有大量正电荷后，形成尖端放电。空气分子被电离成大量正负离子，其中正离子在电场作用下飞向转子，使转子带上了大量正电荷当转子受到针尖上正电荷的静电斥力和正离子风两者形成的力矩，使转子作顺时针旋转〔图 3 b〕，当转子旋转 1~2 周后，在转子的表面都带上了正电荷，这样转子除受到正离子风产生的力矩外，同时受到金属针尖 A 上正电荷的顺时针方向和逆时针方向的静电斥力矩，如图 4 的示意图所示。这样使转子转动的速度逐渐变慢，有时甚至停止转动，这主要与转子在针尖 A 前的位置距离和天气温度大小有关这实验还表明转子旋转与否，主要是电荷的斥力矩，而电风是次要的效应。

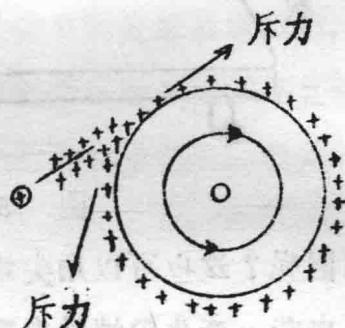


图 4

2. 现在在铜管 A 的对面也装一只有机玻璃柱子，在柱子上套一焊有金属针尖的铜管 B，如图 5 所示，使两针尖之间相距约为 1.3 厘米并使转子离开两组针尖的距离相等。我们用只手去拿住铜管 B，表示铜管 B 接地，此时铜管 A 仍与起电机的正电极相连接，转动起电机，使铜管 A 的针尖带上大量正电荷后，转子开始顺时针方向旋转，并且越转越快，也就是说，由于在转子的另一侧增加了一根接地的带针尖铜管，使转子的转速加快了许多，并且不会发生转子停转现象。这