

## 理论问题与实验探究合集（电学）

一共 19 个实验，4 个理论问题或推导

### 1. 电与磁有什么区别和联系？【初一】

英国医生、物理学家吉尔伯特在 1600 年出版的著作《论磁》中也叙述了他对电现象的研究内容. 他发现, 玻璃、硫磺甚至钻石摩擦过后, 也像琥珀一样可以吸引轻小物体. 他首先指出, 这是与磁现象有本质区别的另一类现象. 因为磁石无需摩擦即可吸引铁, 且只能吸引铁, 并能指向南北, 而玻璃、硫磺、钻石, 琥珀摩擦过后可以吸引很多不同的轻小物体, 但是不能指向南北, 因此吉尔伯特将这种与磁石的吸引特性相区别的特性命名为电, 他新造了一个拉丁字 *electricus* (拉丁意思是琥珀) 来表示经过摩擦后可以吸引轻小物体的特性(性质). 英语中根据 *electricus* 产生了新的词汇 *electric* 和 *electricity*, 这两个新的英语词汇是另一个英国物理学家托马斯·布朗在几年后基于吉尔伯特的研究继续研究电后, 写的书里用来描述自己的研究所用的词汇.

吉尔伯特对电的研究内容包括:

玻璃、硫磺甚至钻石摩擦过后, 也像琥珀一样可以吸引轻小物体;

磁石无需摩擦即可吸引铁, 且只能吸引铁, 并能指向南北;

玻璃、硫磺、钻石, 琥珀摩擦过后不能指向南北;

给出了磁的吸引特性与电的吸引特性的区别;

制成了第一台验电器, 并用它证明了离带电体越近, 吸引力越大, 还指出电引力沿直线; 带电体被加热或放在潮湿的空气中, 它的吸引能力就消失了.

#### 1. 实验名称: 盖利克摩擦硫磺球起电【初一】

##### 1. 实验器材: 硫磺香皂

盖利克 (Ottovon Guericke, 1602-1686) 德国物理学家. 1672 年左右, 他制作了第一台静电起电机, 这是一个装在轴上直径十多厘米可以旋转的硫磺球, 在球旋转时, 用手压住球, 就可以使球起电, 比传统的摩擦方法有效得多. 他用这台机器进行了电学研究, 发现了电排斥、感应起电及电致发光现象 (在黑暗中, 带电硫磺球发光); 用一小片毛织品接触旋转硫磺球时会产生巨大的火花. 他还发现电荷行进到亚麻线的末端, 因而成为发现电排斥及电传导现象的前驱.

#### 2. 实验名称: 格雷的电传导实验, 人体带电实验, 导体与绝缘体【初一】

##### 2. 实验器材: 两端开口的玻璃管, 软木塞, 金属丝, 细线, 麻绳

格雷大约出生于 1670 年左右, 原来是一个染匠. 但是, 他特别喜欢科学研究, 几乎把业余时间都用来进行科学实验了. 经过多年努力, 格雷终于成为英国的一位大物理学家, 并且把人类对电的探索引上了进行实验研究的正确道路. 早在 1720 年前, 格雷就开始研究电现象. 当时, 人们只知道琥珀、水晶、硫磺、树脂等刚性物体摩擦后可以吸引轻小物体, 也就是说, 它们能够带电. 格雷通过一系列实验又发现了头发、羽毛、丝绸等柔软物体摩擦后也可以带电. 他把这些发现写成了一篇论文:《关于一些新电学实验的说明》. 论文一发表, 就引起了同行的极大关注, 为了表彰这一重大发现, 伦敦皇家学会还将第一枚科普利奖章授予格雷. 格雷的晚年是在养老院里度过的. 在养老院期间, 他仍然坚持研究电学问题. 1729 年的一天, 格雷得到一支两端带软木塞的玻璃管, 他就拿这支管子做起了电学实验. 他首先摩擦玻璃管使其带电, 然后用玻璃管吸引羽毛, 观察它们的相互作用. 这时候, 有着敏锐观察力的格雷发现了一个新的现象, 软木塞和玻璃管一样, 也能够吸引羽毛. 可是, 软木塞并没有受到摩擦, 怎么会带电呢? 格雷想, 是不是通过玻璃管而传导带电的? 想到这里, 他就进一步用木杆、金属丝、绳索、细线等其它物体进行实验, 结果发现了自然界存在着两类不同性质的物

体，一类物体可以传导电力，另一类物体则不能传导电力. 1733 年，格雷正式发表了这项研究成果.

格雷为了研究电究竟能传多远，用木棍、麻线、钓鱼竿等做过多次试验，最长的达 650 英尺（约 200m）. 实验中为了能把用来输电的麻绳吊起来，他曾用丝线和铜丝悬挂麻绳，结果发现用铜丝时，电就不能沿麻绳传导了. 他猜想，可能是电通过铜丝和铁钉跑掉了. 进一步的研究发现，电通过金属比通过丝绸更容易传导，因此，**把电容易通过的物体叫导体**（如金属），而把电难以通过的物体叫非导体（如丝线）. 格雷还做过一个有趣的实验：**把一个小孩子用几根粗丝绳水平吊起来，用摩擦过的带电玻璃管接触小孩的胳膊，孩子的手和身体便能吸引羽毛和铜屑**. 这表明，人也是导体.

一天晚上，在他的养老院房间，格雷注意到，摩擦过后他的玻璃管两端的软木塞（需要保持潮湿和无尘）对小纸片和谷壳产生了吸引力. 当他用杉木枝条插入软木塞中间时，这种吸引力出现在了枝条末端. 于是他尽可能延长枝条，最终用螺纹线连接到一个象牙做的球上，他注意到电的特性（吸引力）可以传递一段距离，象牙球可以吸引轻的物体，就像它是玻璃管一样.

接下来的几天里他不断地延长他的螺纹线（他只有一小段线并且不知道金属作为导体的重要性），并拜访了有钱的朋友格兰维尔·惠勒（Granville Wheeler），用带子系紧细线上下穿过他们庄园的大房间，然后从塔顶拉到院子，距离有 800 英尺（243.84 米）.

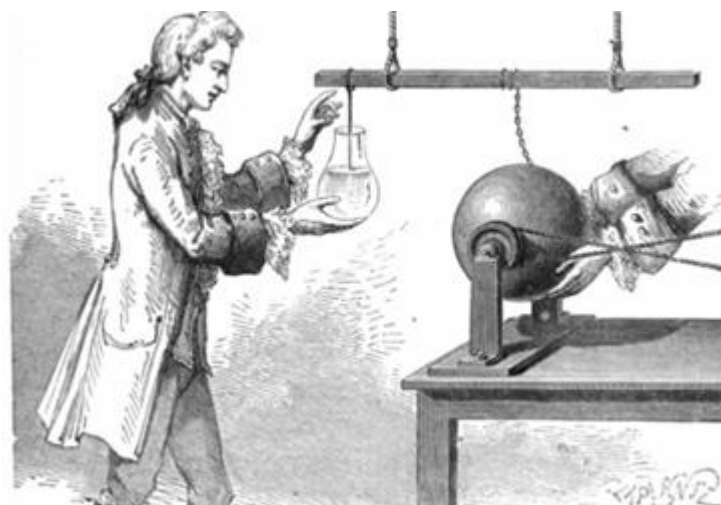
在这个过程中，**格雷和惠勒发现了用丝线（导电性比他们用的大麻包线导体弱）使他们的线与地分来绝缘的重要性**，他们发现系导线的线会漏电，并且电会在弯曲的导线里传递且不受重力的影响（原以为电荷水流一样从高处流向低处）.

### 3. 实验名称：制作莱顿瓶【初一】

3. 实验器材：玻璃瓶，矿泉水瓶，小铁钉，锡箔纸，导线

1745 年，普鲁士的**克莱斯特**利用导线将摩擦所起的电引向装有铁钉的玻璃瓶（依然把电看做流体）. 当他用手触及铁钉时，受到猛烈的一击.

德国科学家**克拉斯特**主教（Ewald Georg von Kleist，1700 年—1748 年）和荷兰的**慕欣勃罗克**（Pieter van Musschenbroek）基于电是一种流体的理论（吉尔伯特也持有这种观点，以及电可以传导的特性也容易产生流体的理论），希望用装有水的广口瓶捕获这些流体. 1744 年，**克拉斯特** Kleist 用线（当然是导线）连接广口瓶和箔片，并用摩擦起电机给箔片带电.



### 4. 实验名称：迪费箔片验电器，“玻璃电”和“树脂电”的发现【初一】

4. 实验器材：箔片验电器，玻璃棒，松香

吉尔伯特制成了第一台验电器，并用它证明了离带电体越近，吸引力越大，还指出电力沿直线；带电体被加热或放在潮湿的空气中，它的吸引能力就消失了。

迪费在实验中改进了吉尔伯特的**验电器**，将原来验电器的金属细棒用金箔代替，并用这种仪器检验电荷。他在实验中发现，金箔和带电玻璃棒接触之后，如果让带电玻璃棒再次接近金箔，它们之间就相互排斥；此时，他又把一块经过摩擦后带电的硬树脂（如松香、琥珀）放到刚才的金箔附近，竟然发现金箔受到了树脂吸引。这是他原来根本没有想到的事情，他以为带电体之间都是相互排斥的。现在，金箔的电受到玻璃上电的排斥，又受到树脂上电的吸引。这一发现使他认识到玻璃上的电和树脂上的电是不同的。经过进一步研究和实验之后，迪费终于得出了结论：有两类性质不同的电，一类是玻璃和水晶等透明固体摩擦后所带的电，他把这种电叫做“玻璃电”；另一类是琥珀、硬树脂和封蜡等树脂质物体摩擦后所带的电，他称为“树脂电”。至此，就发现了“玻璃电”和“树脂电”。通过大量实验，迪费又证明了同类的电互相排斥，而不同类的电则互相吸引。

## **2. 富兰克林的风筝实验：正、负电荷，电荷守恒定律，物体带电的三种方式【初一】**

A. 富兰克林的实验证明了“天电”与“地电”是同一性质的。

B. 在电的双流体假设的基础上，迪费总结出物体带电的三种方式：即摩擦带电、传导带电和感应带电。

C. 富兰克林虽然同意电是一种流体的观点，但却不同意电的双流体学说，他提出了电的单流体理论。富兰克林指出：电是一种充斥于物体中的真正元素，他把这种元素称为“电火”，其它物质都吸引“电火”。如果一个物体散失了一些“电火”，这个物体就带“负电”；反之，若一个物体收集了一些“电火”，它就带正电。树脂质物体摩擦后会散失一些“电火”带负电，玻璃和水晶等透明固体摩擦后会收集一些“电火”带正电。所以，**他就把“玻璃电”称为正电，“树脂电”称为负电**。富兰克林又根据电的单流体理论指出，一个或多个物体可以获得另一个物体散失的“电火”，正电和负电必须等量出现。**电荷既不能创生，也不能消失，而是在物体之间发生转移**，这就是**电荷守恒定律**的重要思想。

D. 在富兰克林所处的时代，人们对物质的微观结构一点也不知道，因而也就不可能揭示物体起电的真正原因。现在的科学研究表明，物质由分子组成，分子由原子组成，原子由电子和原子核组成，原子核由质子和中子组成，电子带负电荷，质子带正电荷，一般情况下，物体内电子和质子的数目相等，物体不带电。但是当物体失去了一些电子时，它的质子就多于电子，物体就带正电。当物体得到一些电子时，它的电子就多于质子，这时物体就带负电了。

## **5. 实验名称：伽伐尼青蛙实验，伏特实验【初一】**

### **5. 实验器材：铜丝，锡丝，指南针**

**伽伐尼**在**铁制**平台上放了一只已经剥去皮的青蛙，准备做实验，当他把**锡制**的刀放在桌面上且搭在青蛙腿上时，青蛙腿抖动了一下。

帕维亚大学的实验物理学教授亚历山德罗·伏特重复并检验了伽伐尼的实验，他是最早这样做的科学家之一。起初他接受动物电理论，然而后来他开始产生怀疑。伽伐尼的理论认为，电流传导是由动物的腿（或身体其它部分）内含有的特殊电力产生的；而伏特提出，电流传导是通过伽伐尼在试验中用来连接神经和肌肉的金属线产生的。伽伐尼相信动物电来自骨盆中的肌肉；反对这一理论的伏特则提出，动物电是摩擦青蛙皮导致的一种物理现象，而不是“金属电”——也就是现在所说的电流。

**伏特**在1792—1796年重复伽伐尼的实验时发现，只要有两种不同金属互相接触，中间隔以湿的硬纸、皮革或其他海绵状的东西，不管有没有蛙腿，都有电流产生，从而否定了动物电的观点。伏特认识到蛙腿收缩只是放电过程的一种表现，两种不同金属的接触才是电流现象的真正原因。

根据各种金属接触的实验结果，伏特列出了锌—铅—锡—铁—铜—银—金的次序，这就是著名的伏特序列。其中两种金属相接触时，位于序列前面的都带正电、后面的带负电。

1800年伏特用锌片与铜片夹以盐水浸湿的纸片叠成电堆产生了电流，这个装置后来称为伏特电堆，他还把锌片和铜片放在盛有盐水或稀酸的杯中，放多个这样的小杯子串联起来，组成电池。他指出这种电池“具有取之不尽，用之不完的电”，“不预先充电也能给出电击”。伏特电堆（电池）的发明，提供了产生恒定电流的电源——化学电源，使人们有可能从各个方面研究电流的各种效应。从此，电学进入了一个飞速发展的时期——电流和电磁效应的新时期。

#### 6. 实验名称：雷电使钢针磁化实验，莱顿瓶放电磁化钢针【初一】

#### 6. 实验器材：钢针，感应起电机，细线

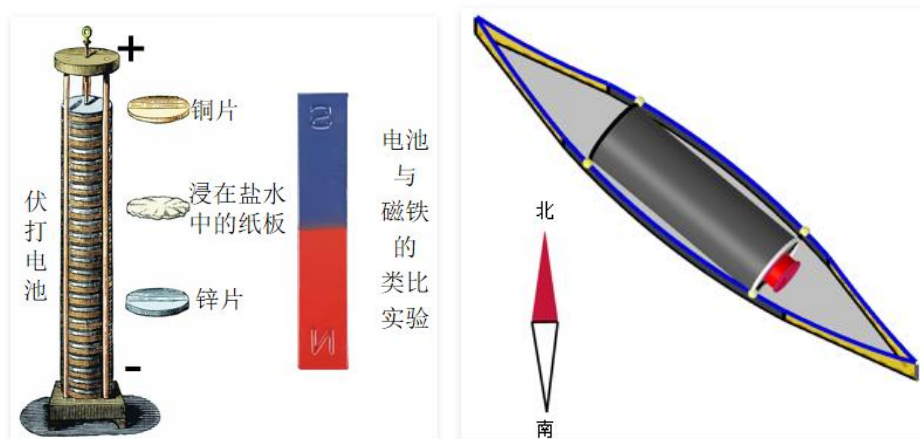
长期以来，磁现象和电现象一直是被分别进行研究的，特别是吉尔伯特对电和磁的现象进行分析对比后断言，**电和磁是两种截然不同的现象**后，很多科学家都认为电和磁之间不可能有什么关系。法国物理学家库仑曾证明：“**电与磁是完全不同的实体**”；另一位法国物理学家，安培定律的创立者安培也说过：“电和磁是相互独立的两种不同的流体”；英国物理学家、光的波动说的奠基人托马斯·杨在他的《自然哲学讲义》中说：“没有任何理由去设想电与磁之间存在任何直接的联系。”

然而，也有一些人猜测电和磁之间可能存在着某种联系。一位名叫威克菲尔德的小商人，就曾描述过雷电使他箱子中的刀、钢针磁化的现象；1751年，富兰克林发现莱顿瓶放电可以使焊条、钢针磁化或退磁。1774年，德国巴伐利亚电学研究院为了激励科学家们深入研究电和磁之间的关系问题，提出了一个有奖征文题目《电力和磁力是否存在着实际的和物理的相似性呢？》不少人去努力探索，但都没有取得什么成果。

#### 7. 实验名称：开路电池两端与磁铁两端很像，电池两端也会彼此相互吸引或吸引磁铁吗？【初一】

#### 7. 实验器材：干电池一节、铜线、羽型磁针

1. 磁针不吸引干电池两极
2. 把一节电池漂浮在水面的小船上，小船没有转向指向南北极



结论：开路电池两端与磁铁两端没有相互作用

#### 8. 实验名称：奥斯特实验（磁针垂直于导线）（电池活跃时，在闭路中寻找效应。）【初一】

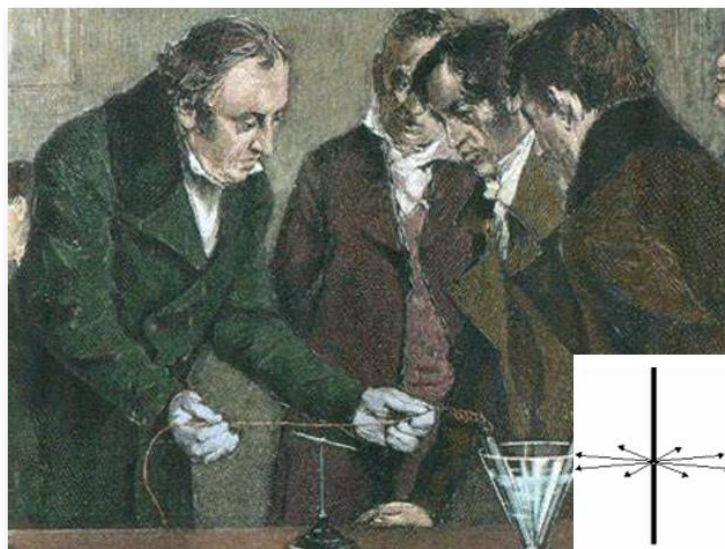
连接线变成了磁铁，一端有一个磁极，另一端有另一个磁极——就像一根长的磁化铁丝

#### 8. 实验器材：干电池一节、铜线、羽型磁针、开关、导线

电池活跃时，导线类似一根磁化铁丝，磁力应该沿着导线方向，磁针指向导线（垂直于导线）的话，长导线一端应该会吸引或排斥磁针



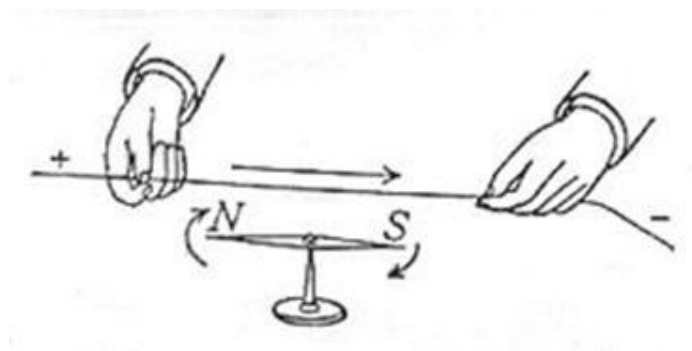
结论：磁针垂直于导线时，导线与磁铁两端没有相互作用



9. 实验名称：奥斯特实验（磁针平行于导线）【初一】

9. 实验器材：干电池一节、铜线、羽型磁针、开关、导线

结论：磁针平行于导线时，导线与磁铁有相互作用



从 1820 年 4 月起，一直到 7 月，奥斯特整整耗费了 3 个月的时间，做了 60 多个实验。奥斯特分别将磁针放在导线的上方和下方，考察电流对磁针作用的方向。他先将导线的一端和伏特电池连接，然后把导线沿南北方向平行地放在小磁针的上方，当导线的另一端接通伏特电池的负极时，小磁针立即指向东西方向；如果将导线放在磁针的下方，小磁针就向相反的方向偏转。奥斯特还把磁针放在距导线远近不同的距离处，检验电流对磁针作用的强弱；他把玻璃板、木板或石块等非磁性物体放在导线和磁针之间，考察电流对磁针的影响，甚至把小磁针浸在盛水的铜盆中，小磁针都照样偏转。如果导线沿东西方向放置，无论将导线放在磁针的上方，还是下方，磁针始终保持静止，丝毫没有偏转现象。

10. 实验名称：安培力平行导线相互吸引或排斥【初一】

10. 实验器材：通电平行直导线相互作用演示器

安培证明，两条平行放置且彼此靠近的载流导线会产生磁力线，导致导线相互吸引或排斥，这取决于电流是沿相同方向流动还是沿相反方向流动。

11. 实验名称：设计螺线管，电磁铁【初一】

11. 实验器材：铜丝，条形磁铁，圆棍，干电池，导线

安培还发现，电流在线圈中流动的时候表现出来的磁性和磁铁相似，设计出第一个螺线管，在这个基础上发明了探测和量度电流的电流计。

在磁学上,1820年阿拉戈发现通电的铜螺线管能像磁铁一样吸引铁屑,1824年还发现转动的铜盘能影响磁针转动.

1825年W.斯特金发明**电磁铁**,为电的广泛应用创造了条件.

早在1820年春天,丹麦的奥斯特在一次偶然之中就发现了这一原理.1822年,法国物理学家阿拉戈和吕萨克才发现,当电流通过其中有铁块的绕线时,它能使绕线中的铁块磁化.这实际上是电磁铁原理的最初发现.1823年,斯特金也做了一次类似的实验:他在一根并非磁铁棒的U型铁棒上绕了18圈铜裸线,当铜线与伏特电池接通时,绕在U型铁棒上的铜线圈即产生了密集的磁场,这样就使U型铁棒变成了一块“电磁铁”.这种电磁铁上的磁能要比永磁能放大多倍,它能吸起比它重20倍的铁块,而当电源切断后,U型铁棒就什么铁块也吸不住,重新成为一根普通的铁棒.

斯特金的电磁铁发明,使人们看到了把电能转化为磁能的光明前景,这一发明很快在英国、美国以及西欧一些沿海国家传播开来.

1829年,美国电学家亨利对斯特金电磁铁装置进行了一些革新,用磁电绝缘导线代替裸铜导线,因此不必担心被铜导线过分靠近而短路.由于导线有了绝缘层,就可以将它们一圈圈地紧紧地绕在一起,由于线圈越密集,产生的磁场就越强,这样就大大提高了把电能转化为磁能的能力.到了1831年,亨利试制出了一块更新的**电磁铁**,虽然它的体积并不大,但它能吸起1吨重的铁块.

## 12. 实验名称: 旋转铜盘产生磁【初一】

12. 实验器材: 圆盘,铁架台,铜盘,旋转台,蹄形磁铁,细线

旋转铜盘时,悬挂于上方的磁铁跟着旋转(没有磁性的导电的铜盘旋转后产生了磁性)

## 13. 实验名称: 法拉第制造了一种可以被视为第一台电动机的装置【初一】

13. 实验器材: 塑料杯,圆柱形磁铁,热熔胶,铁架台,导线、电池组,食盐,水,细铜丝

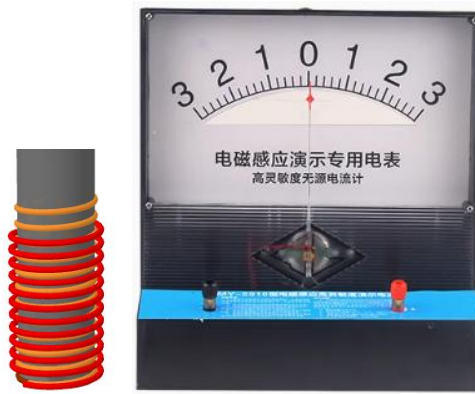
1821年9月,法拉第制造了一种可以被视为第一台电动机的装置.他证明,一根悬挂在中心有永磁体的水银容器中的悬索,一旦电流通过,就会绕着磁体旋转(导电水银完成电路).

通过这个非常简单的装置,法拉第展示了他所谓的“电磁旋转”——他利用电和磁来产生运动,这是奥斯特原理的推广——并发现了电动机背后的原理.这个想法是,通过电线的电流在其周围产生了一个磁场,该磁场与磁铁的磁场相互作用,在电流流动的同时以圆周运动的方式推动电线



## 14. 实验名称: 法拉第尝试用通电导线周围产生的磁产生电(磁生电)【初一】

14. 实验器材: 圆柱木棍、绝缘导线、演示电表、G表、导线、电池组



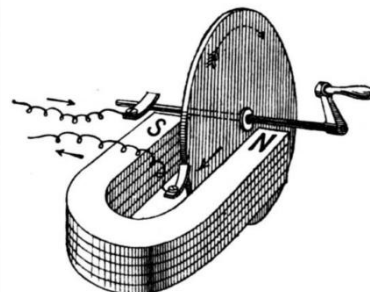
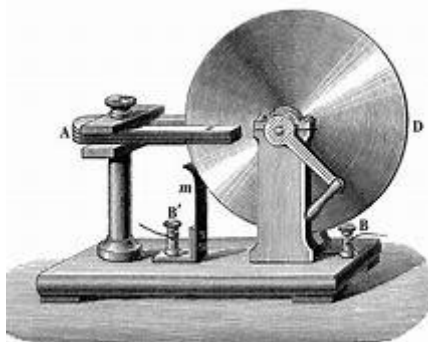
1. 木棍上依次缠绕 2 个线圈，内部线圈通电时，外部线圈中没有电，演示电表没有偏转.

2. 较长的导线、不铜材质的导线、更强的电池时，外部线圈中有电，演示电表有微小的偏转. 第一根电线中的电流变化，以及由此产生的磁场，正在诱导电流暂时流入第二根电线.

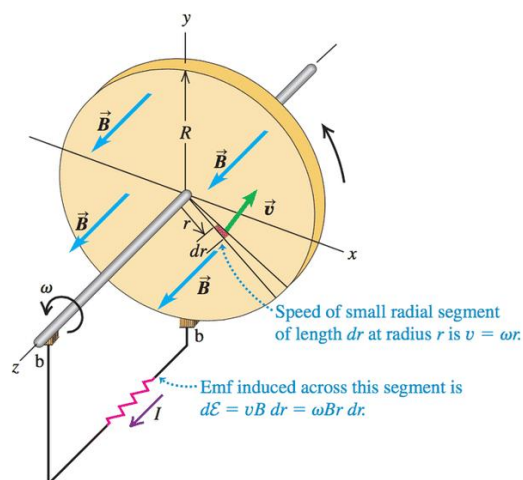
接下来，他发现了一种更有效的改变磁场的方法：通过移动两根电线，一根连接到电池，另一根连接至电流计，使其相互靠近或远离. 电流计针的反应是，随着金属丝的来回运动，一个方向然后另一个方向振动. 但一旦它们停下来，电流计针也停了下来，表明第二根电线上没有更多的电流.

#### 15. 实验名称：演示法拉第圆盘发电机【初一】

15. 实验器材：法拉第圆盘发电机、演示电表



two sliding contacts labeled D.



圆盘发电机的圆心处固定一个摇柄，圆盘的边缘和圆心处各与一个黄铜电刷紧贴，用导线把电刷与电流表连接起来；紫铜圆盘放置在蹄形磁铁的磁场中。当法拉第转动摇柄，使紫铜圆盘旋转起来时，电流表的指针偏向一边，这说明电路中产生了持续的电流。

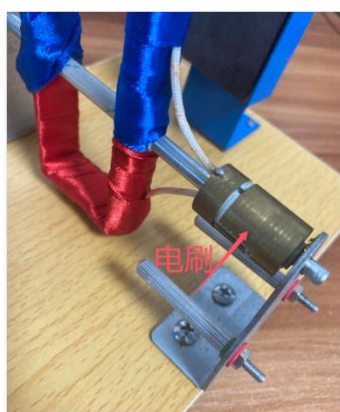
法拉第圆盘发电机是怎样产生电流的呢？我们可以把圆盘看作是由无数根长度等于半径的紫铜辐条组成的，在转动圆盘时，每根辐条都做切割磁力线的运动。辐条和外电路中的电流表恰好构成闭合电路，电路中便有电流产生了。随着圆盘的不断旋转，总有某根辐条到达切割磁感线的位置，因此外电路中便有了持续不断的电流。

#### 16. 实验名称：熟悉换向器的功能【初一】

#### 16. 实验器材：手摇交直流发电机

由于当时交流电流没有实际用途，因此必须找到一种方法将其转换为直流（DC）电流。

安培和其他人的建议导致了换向器（一种旋转开关）的引入，当电流反向时，它会反向连接到外部电路，从而产生脉冲直流电流而不是交流电流。



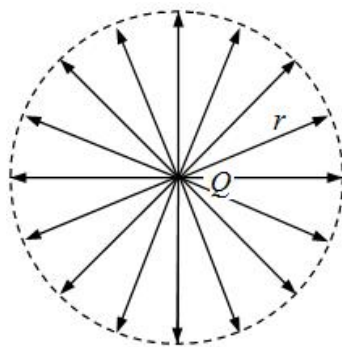
交直流换向器

换向器由两个相互绝缘的金属固定在支撑线圈的中心轴上，每根导线连接一片金属，两个电刷在中间时接出来的是脉冲直流电，在两侧时是交流电。

#### 3. 用电场线密度的概念推导麦克斯韦方程组中的第一个方程：电场的高斯定律【高一】

对于电磁现象的广泛研究使法拉第逐渐形成了他特有的“场”的观念。1837年他引入了电场和磁场的概念，指出电和磁的周围都有场的存在，这打破了牛顿力学“超距作用”的传统观念。1838年，他提出了电力线的新概念来解释电、磁现象，这是物理学理论上的一次重大突破。他深信在带电体和磁体的周围存在着某种特殊的“紧张”状态，他用电力线和磁力线来描述这种状态。他认为：力线是物质的，它弥漫在全部空间，并把异号电荷和相异磁极分别连结起来；电力和磁力不是通过空虚空间的超距作用，而是通过电力线和磁力线来传递的，它们是认识电磁现象必不可少的组成部分，甚至它们比产生或“汇集”力线的“源”更富有研究的价值。1852年，他又引进了磁力线的概念，从而为经典电磁学理论的建立奠定了基础。后来，英国物理学家麦克斯韦用数学工具研究法拉第的磁力线理论，最后完成了经典电磁学理论。





电荷量为  $+Q$  的点电荷周围的电场如图所示, 虚线表示以  $+Q$  为圆心, 半径为  $r$  的球面.

球面上任意一点的电场强度大小  $E = \frac{F}{q} = \frac{kqQ}{qr^2} = k \frac{Q}{r^2}$ , 我们知道, 电场强度的大小还可以

用电场线的疏密程度表示, 即电场强度与穿过该点的, 垂直于电场方向单位面积的电场线条数成正比,  $\frac{\Delta N}{\Delta A} \propto E$ . 定义  $\frac{\Delta N}{\Delta A} = \varepsilon_0 E$ ,  $\Delta N = \varepsilon_0 E \Delta A$ , 把球面上所有面积上的电场线相加, 有

$$N = \varepsilon_0 EA$$

对上面的球体,

$$N = \varepsilon_0 EA = \varepsilon_0 \frac{kQ}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\pi k \varepsilon_0 Q$$

令  $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ , 则有  $N = Q$ , 从而穿过球面的电场线总数量等于封闭在球内的电荷量.

这就是电场的高斯定律:

**垂直穿出或穿入任何闭曲面的净电场线条数在数量上等于曲面内的净电荷量.**

$$N = \sum \varepsilon_0 EA = \sum q$$

#### 4. 理解位移电流的产生和推导【高一】

此外麦克斯韦又引入了“位移电流”的概念, 变化的电场引起媒质位移电流的变化, 位移电流的变化与电流一样在周围的空间激发涡旋磁场.

**位移电流**

对平行板电容器, 有  $C = \frac{q}{U} = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$ , 设板间电场强度为  $E$ , 距离为  $d$ , 一电荷量为  $q$  的带电粒子在两板间沿电场方向运动, 有

$$W = Fd = Eqd = qU$$

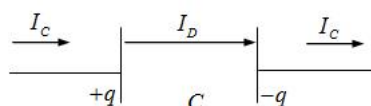
$$E = \frac{U}{d} = \frac{q}{\varepsilon_0 A}$$

电容器在充、放电的过程中，电荷量随时间发生变化，变化率  $dE = \frac{dq}{\epsilon_0 A}$ ，由于

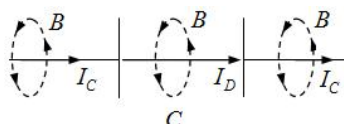
$$I = \frac{dq}{dt}, dq = Idt, \text{ 得 } dE = \frac{Idt}{\epsilon_0 A}, I_D = \epsilon_0 A \frac{dE}{dt}. \text{ 麦克斯韦认为，电容器内电场的变化等价于}$$

通过电容器的电流，称其为**位移电流**  $I_D$ . 我们将导线中普通的电流称为传导电流  $I_C$  如图所

示，传导电流  $I_C$  进入电容，位移电流通过电容，传导电流离开电容.



正如通电直导线周围存在磁场一样，由于位移电流的存在，电容器周围也存在磁场，如图所示：

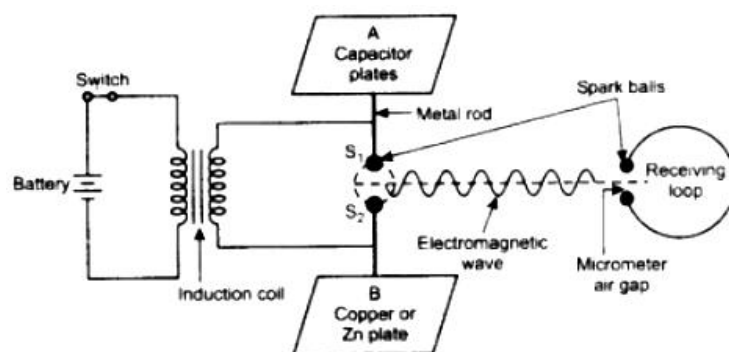


## 17. 实验名称：赫兹实验（电磁波的发射与接收）【初一】

### 17. 实验器材：感应线圈，锌板，接收线圈

赫兹根据电容器经由电火花隙会产生振荡原理，设计了一套电磁波发生器，赫兹将一感应线圈的两端接于产生器二铜棒上. 当感应线圈的电流突然中断时，其感应高电压使电火花隙之间产生火花. 瞬间后，电荷便经由电火花隙在锌板间振荡（锌作为导电金属，其表面可形成自由电子层，当电磁波入射时，自由电子会快速响应并产生反向电磁波，从而实现反射. 理想导体的反射率理论上为 100%，但实际中因材料特性存在差异.），频率高达数百万赫兹. 由麦克斯韦理论，此火花应产生电磁波，于是赫兹设计了一简单的检波器来探测此电磁波. 他将一小段导线弯成圆形，线的两端点间留有小电火花隙. 因电磁波应在此小线圈上产生感应电压，而使电火花隙产生火花. 所以他坐在一暗室内，检波器距振荡器 10 米，结果他发现检波器的电火花隙间确有小火花产生. 赫兹在暗室远端的墙壁上覆有可反射电磁波的锌板，入射波与**反射波**重叠应产生驻波，他也以检波器在距振荡器不同距离处侦测加以证实. 赫兹先求出振荡器的频率，又以检波器量得驻波的波长，二者乘积即电磁波的传播速度  $v = \lambda f$ .

正如麦克斯韦预测的一样. 电磁波传播的速度等于光速. 1888 年，赫兹的实验成功了，而麦克斯韦理论也因此获得了无上的光彩. 赫兹在实验时曾指出，电磁波可以被反射、折射和如同可见光、热波一样的被偏振. 由他的振荡器所发出的电磁波是平面偏振波，其**电场平行于振荡器的导线**，而**磁场垂直于电场**，且两者均垂直传播方向. 1889 年在一次著名的演说中，赫兹明确的指出，光是一种电磁现象.



**18. 实验名称：**赫兹光电效应实验（遮挡物和紫外光对火花长度的影响）【初一】

**18. 实验器材：**感应线圈，线圈，三棱镜，紫光灯

在验证电磁波的实验中，为了使接收到的电火花更容易看到，赫兹说，我偶然地把接收火花的线圈放在黑盒子里以便于更容易地观察到火花，但是这样一来火花的最大长度就比之前的小很多。于是我一片一片地拆除黑盒子，发现唯一影响火花长度的部分是处于接收端与发射端之间的部分，而且不仅仅是当这部分紧挨着接收端会有影响，距离接收端更远也会有影响。赫兹做了更深入的研究，发现接收端的小火花如果暴露在紫外光中，火花会更亮，当然这是花了很长时间才弄清楚的。起初他发现把玻璃放在接收端和发射端之间有遮挡作用，但是比较厚的石英石却没有，于是他用石英三棱镜使发射端的火花分成各种频率，然后不同频率的光照射接收端火花，发现使接收端火花更亮的光在不可见光区，是紫外光部分。赫兹将这些实验结果发表于《物理年鉴》，赫兹写到，当我确信地知道我所处理是紫外光的效应时，我就把这个研究放在一旁而把注意力再一次放到了主要问题上（电磁波）。

**19. 实验名称：**霍尔伐克士光电效应实验（紫光对锌板带电的影响）【初一】

**19. 实验器材：**锌板，感应起电机，橡胶棒，毛皮，验电器

霍尔伐克士描述了他的简单实验：将一个干净的圆盘锌（zinc）板安装在一个绝缘的架子上并用一根导线与金质叶片的验电计相连，然后使锌板带负电。此时验电计失去电荷的速度是很慢的。然而，如果锌板暴露在弧光灯或燃烧的镁产生的紫外光中时，验电计上的电荷失去速度会非常快；如果使锌板带正电，则验电计没有那么快的失去电荷，假若电中性的锌金属被紫外线照射，则会很快地变为带有正电荷，负电（negative electrification）[n. 充电，电气化]会逃逸到金属周围的气体中，假若吹拂强风于金属，则可以大幅度增加带有的正电荷数量，据说霍尔伐克士是赫兹做电磁波验证实验的助手。