

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

给人类光明的电气技术

第一章 电磁学的童年

大海的恩赐

地中海海湾是那样的宁静、美丽，平坦的沙滩上，走过来希腊的哲学家泰勒斯。希腊人把他推崇为“科学之祖”，希腊科学、数学和哲学的创始人。公元前 624 年，他出生于小亚西亚的米利都城，父母都是贵族，所以从小就受到良好的教育。那时候，整个社会还处于愚昧落后的状态，人们对于许多自然现象不理解。但是，泰勒斯对大自然却有着极大的探讨兴趣。他对天文学、数学等自然科学有深入的研究，曾很准确地预测了公元前 585 年发生的一次日食的时间，他公布的太阳直径的大小和现在测量的数据相差很少，他还在没有任何天文设备的条件下，确定一年是 365 天。这些在当时的条件下是很了不起的。

泰勒斯酷爱大海，也许是大海那博大的胸怀包容着宇宙中一切奥秘，也许是那无边的沙滩是他研究数学的好地方。他在沙滩上痴情地描画着各种图形。他曾发现了圆的直径能把圆分为两等分，也发现了所有的对顶角相等，等腰三角形的两底角相等。他对几何的研究已达到了较高的水平。曾经有许多人想测量著名的金字塔的高度，却始终没有想出办法来，于是去请教他。泰勒斯告诉他们说：“当你自己的影子和你本身一样长的时候，便去量金字塔的影子的长度。”这是多么简捷明了的思想啊！但是，它的背后却是严密的推理，现在我们知道这个三角形相似的原理。

有一次，泰勒斯在沙滩上捡到一颗硕大的琥珀，擦去上面的泥土，发现琥珀里有一只纤毫毕现的昆虫，这块琥珀是从哪里来的呢？也许亿万年前这里曾是一座高山，山上长着一大片松林，一滴松脂把这个昆虫裹起来，流逝的时光把这滴松脂变成了琥珀化石，保存下来。

泰勒斯非常喜欢这块美丽的琥珀，把它带回家去，摆在案头，经常用他的袍子擦拭它，想让他更加晶莹透亮。在工作之余，他常常用力地摩擦这块琥珀。一天，泰勒斯和往常一样，把心爱的琥珀在手里反复地摩擦了老半天以后把它放回台子上。

突然，泰勒斯惊呆了，眼睛睁得大大的，嘴巴也张开，简直不相信自己的眼睛。在琥珀附近的一块小木屑，正向琥珀移动，最后竟粘在琥珀上！泰勒斯亲眼看到木屑是全自动地向琥珀移去的。

他决定再试一下。又拿起琥珀在袍子上用力摩擦，然后放在小木屑旁边，木屑又被琥珀吸引过去了。

泰勒斯对琥珀的奇妙性质研究了许多年，他想，琥珀除了喜欢吸引木屑以外，是否也喜欢吸引其它又轻又小的东西呢？于是他找来布的碎片、羽毛、羊毛等东西，只要把琥珀摩擦一遍，琥珀就会把这些轻小的东西吸过去。

泰勒斯站起来。在石板地面上踱来踱去。这个神秘的事情需要思考一番。琥珀为什么喜欢把轻小的东西聚集在自己的周围呢？

他已经知道，在自然界中有一种矿石具有吸铁的力量，据说这种矿石是传说中的牧羊人马格尼特发现的。这个四处流浪的牧羊人，有一天赶着羊群爬上克里特岛的艾达山，沿途石块纵横，全凭一根拐杖支持着身体向上，忽然走不动了，拐杖好似在地上生了根，怎么也举不起来了。

“怎么回事呀？”马格尼特跪在地上，仔细地着他的拐杖，原来他的拐杖的铁尖头牢固地被大地吸引着。马格尼特努力探究其中的原因，他发现

是一块巨大的黑石头在作怪，这是天然磁石。希腊人为了纪念马格尼特，把磁铁叫做“马格尼特”，英文中的磁铁也是这位古希腊牧羊人的名字而来的。

古希腊用的铁主要是在爱琴海沿岸和地中海的岛屿上开采的，那里确实有许多磁铁矿。关于天然磁石还有许多故事、传说，在亚历克山大城亚西诺寺庙里，有一尊铁铸的皇后半身像悬在半空中，怎么会这样呢？原来那拱形的屋顶是用磁铁矿建造的；在罗佳德岛上有一匹 5000 磅重的铁马被磁铁吊在空中；还有用磁铁把穆罕默德的灵柩悬在空中的故事。但是，古希腊人对于磁铁没有任何深入的研究。

那么，琥珀吸引小木屑是不是和磁石引铁的道理一样呢？

泰勒斯把琥珀和天然磁石进行了对比。他发现磁石吸铁并不需要摩擦，而琥珀则一定要摩擦才能吸引轻小物体。这是为什么呢？泰勒斯不明白，但是，他像科学家一样，把观察到的事实记载下来。这时他绝不会想到，这一发现对后人研究电和磁的关系有着多么重要的启蒙作用，他为开启电气时代作出了伟大的贡献。

伊莉莎白女王的御医

假如世界像现在这么“小”，科学技术的发展速度就不会那样缓慢了。当古希腊人对琥珀和磁石百思不解的时候，在地球尽头的另一个文明古国——中国，也研究着同类现象。中国公元一世纪的《论衡》一书中，就记载了“顿牟（即玳瑁）缀芥，磁石引针”的现象，意思是说顿牟（玳瑁）能够吸引细小的芥，这是一种静电现象；磁石能吸引铁针，这是一种磁的现象。我国古书《曾子》上也记载着“上有慈石在者，下有铜金”。古时说的慈石，就是磁石，而“铜金”就是一种铁矿，这说明我国早在公元前300年，就知道磁石能够吸铁了。

根据记载，人类对磁石真正的应用，首先是中国的指南针。这是我国战国时代用磁石制成的一种指示方向的工具，叫“司南”，“司南”就是指南的意思。

欧洲人把指南针用于航海，至少比中国晚100年，但是发展进步比我国要快。我国船队上使用的是一种漂在水面上的指南针，当船只在水面上颠簸时，漂浮着指南针的水面同样动荡不稳，指南针就失去效用。而欧洲人在16世纪设计出一个“万向支架”，把指南针用万向支架支撑着，就不怕船只的颠簸了。其实我国在两汉末（公元前10年左右）就有一名叫丁缓的巧匠设计出了万向支架，这在机械学上是一重大的发明，可惜这种万向架结构派的用场只用来为熏香被窝，制成被中香炉，用万向支架支承着的炉体，里面放着燃烧的香，是用来熏香被子的，不管香炉球如何滚动，炉体总是保持水平，不会把香灰撒出来。

当时我国对于磁现象的研究还只局限于应用上，而对于它的原理却研究得很少。

第一个认真研究现象的是在16世纪中叶，英国女王伊丽莎白的私人医生吉尔伯特。

1600年前的一天下午，吉尔伯特照例到王宫中为女王治病，女王的感冒已经减轻了许多，吉尔伯特把一些药品放在桌子上，然后退步躬身行了个宫廷礼说道：

“陛下圣体已见康复，愿主永赐大英女王健康！”

他说的很快，并准备退出。

女王见他这样着急便挥挥手让他离去。吉尔伯特再次躬身行了个宫廷礼后，就走出去了。

当他步下王宫的台阶时，一位信差递上来一个小包裹，吉尔伯特一看寄包裹的人的名字，便加快步伐离宫回家了。

他一路小跑向家奔去，街上的人用吃惊的目光给这位头带黑色高帽，身着黑色服装，系有黑色披肩的人让路。当时只有医生才是这样的装束。有的人认识他，他是一位受人尊敬的爵士。

吉尔伯特呼的一声把家门推开，连夫人也不理就直奔后面的小屋，多少年来，他的闲暇时间都是在这里消磨的。他关上房门，用激动得颤抖的双手拆开包裹。

拆出来的是他写的书：《论磁铁、磁性物体和大磁铁》，今天终于出版了（以下简称《论磁》）。这是他花了18年心血的成果啊！

女王伊丽莎白对自己的医生非常满意，但是她发现吉尔伯特从不参加上

流社会的活动。她还不只一次的听说，他在自己的住处进行着某种神秘的实验。好奇心和女王的尊严都使她急于了解这位御用医生是如何度过自己的空闲时间的。她决定私访他家。

吉尔伯特当然不是在搞什么秘密实验，多年来他一直被磁现象所吸引，下决心要探明究竟。他把磁石磨成各种形状进行研究并详细地记录下来。他知道了，磁有两极，两极不一样，异种磁极互相吸引，同种磁极相互排斥。有一天，吉尔伯特不小心把一根磁针折断了，意外地发现，折为两段的磁针，每一段又生成了两极，这使他大为惊异，于是他发疯似地把磁针一段段地拆开，每一段断开的磁针都立刻出现两极，这是为什么？他也不清楚，他还发现铁经过锻打后，能变成磁铁，其磁性方向与地磁有关。他还发现磁铁被烧红以后，磁性会消失。他把这些实验结果都一一记录在《论磁》一书中。

下午，一些最显贵的人物陪着女王聚集在吉尔伯特的实验室里，女王在桌边的椅子上就坐，宫女和大臣簇拥在她的身后。

各种实验的表演十分成功，吉尔伯特从摩擦带电开始一直讲到如何磁化钢针。当他用摩擦过的玻璃棒使桌子上的干草直立起来，最后蹦到玻璃棒上的时候，大家禁不住鼓起掌来。女王对这些实验也表现出兴趣，她指着桌上的《论磁》一书，要求吉尔伯特念给她听。

但是，女王很快就打断了他，因为书是用拉丁文写的，女王不喜欢拉丁文。她曾颁布过命令，要求臣民们在祈祷仪式中只能讲英语不能讲拉丁语。她是新教的首领，这是她制定的新教规。

“你知道，亲爱的吉伯！”女王沉思着说，“你的这本书幸亏是用拉丁文写的，这很好，我觉得没有必要让更多的人了解这一切事情……”

女王是一个非常信仰上帝的人，她害怕吉尔伯特的书里有什么地方会冒犯上帝。

吉尔伯特的书在当时并没有引起很大的反响，但是对后人的研究却有重大作用。后来的科学家赫谢尔讲过，这本书“充满了有价值的事实和天才地论述了实验。”它是在英国诞生的第一部伟大的物理科学著作。但是当时，在英国却没有得到过这么高的评价。吉尔伯特的一个伟大功绩是给“电”命名。就像我们不会忘记给自己起名字的祖父一样，电学也不会忘记吉尔伯特。吉尔伯特不仅研究了琥珀的吸引力，还发现像硫磺、玻璃、火漆等东西，受到摩擦后也能吸引轻小的物体。同时也发现，有的东西，无论怎样摩擦也决不会去吸引别的东西。因此，他在自己的书里制造了一个新词，称这种神秘的吸引力为“electricity”这就是英文的“电”。它来源于希腊文的elektra，本意是“琥珀”。

游荡的地磁幽灵

发明了指南针以后，人们对于地磁有许多了解，但是对地磁的本质仍然弄不清楚，有人猜想地磁来自天外大熊星座尾部的那颗北极星，因为地球的自转轴正好指向这颗星。但是后来发现，北半球的磁极不是正好在地理北极上，现在的磁极在北极以南 1600 公里加拿大北部的冰原上。科学工作者测出了地理北极和地磁极之间相差的角度，他们把这一偏差叫做磁偏差。例如，北京的磁偏角是向西偏 $5^{\circ}56'$ 。

世界上最早发现磁偏角的人是我国宋代的科学家沈括，他在公元 1087—1094 年著的《梦溪笔谈》一书中就记述了他的发现，他测出磁针指的不是正南，而略有些偏东，此发现比欧洲要早 400 多年。欧洲直到哥伦布在 1492 年横渡大西洋的时候，才明确地发现磁偏角。

磁偏用的测量首先是由航海家做的，因为他们需要精确的方向，水手白天借助太阳，夜晚要看星星来决定航向，这是自古以来的方法，但是在看不见太阳和星星的日子里，就只能依靠罗盘。因此，他们对于罗盘里的磁针是不是正好指北非常关心。1436 年布兰科曾在本地图集中标出了磁偏角，而且指出磁偏角不是到处相同的，但是没有被大家所接受，直到哥伦布的航行磁偏角才逐渐被人们接受。

虽然首先发现磁偏角的是我国，但是对它进行深入的研究却在欧洲。吉尔伯特为了解释地球的磁性，曾经把一块大的天然磁石磨成一个大球，他把这个磁球称为“小地球”，他在上面画出经纬度，并把磁针放在不同的位置上进行实地测量，发现磁针总是指向两个磁极。因此，他认为磁偏角应该有规律，因为磁针的延线都要通过磁极。

根据这样的理论推证，吉尔伯特认为，磁偏角按照地理的经度应是有规则的变化。他对于航海家实地测出的磁偏角变化则表现出不屑一顾。把那些海图叱之为“是荒谬的不能再荒谬了”。因为图中标出的磁偏角不符合一定的规律。

意大利科学家伽利略在评价吉尔伯特时说：“他伟大到令人妒忌”。但是吉尔伯特对于磁偏角的论证，则未免过于相信推理了。

推理不能完全代替真实的东西，只有实践才是检验真理的唯一标准。物理学的规律所受到的检验是最严格、最“残酷”的，在它说明成千上万的事实中，哪怕有一小点是与理论不相符的，就应该考虑理论的缺陷而不是去否定事实。

人们发现，地球上的磁极不仅和地理磁极不重合，而且更惊人的是磁极的位置在不断地变动，像一个游荡的幽灵。格雷沙姆大学教授吉利布兰德指出，伦敦附近的磁偏角为偏东 $11^{\circ}51'$ ；而在 1622 年发现在同一个地方仅偏东 $6^{\circ}13'$ ，在 1643 年又发现偏东不大于 4° 。

磁偏角会随着时间不同而发生变化，引起了许多科学家的重视，这是用一个固定的大磁球所不能解释的。天文学家哈雷，他因发现以他的名字命名的哈雷彗星运动规律而闻名。哈雷曾经提出地壳是由两个同心的磁壳组成，它们就像套在一起的象牙球一样相对转动，两个磁壳有 4 个磁极，在地面上观测到的磁极是合成的效果。由于两个磁壳缓缓地相对转动，使地面上观测到的磁极不断飘移。哈雷为了检验这个假说，曾经随船远航大西洋和太平洋，但是观测的结果并没有能证明他的假说。

如今坚硬的地壳仍然把地磁的秘密深深地埋藏在里面。地质学家不断地测量着猜测着。1855年，科学家曾仔细地测定过地磁极的位置。五年后再次测量，发现地磁极竟向西北移动了大约112公里。美国曾经发射一颗卫星专门用来测量地球的磁场。科学家根据200余年观测积累的资料，推算出将在22世纪即2185年地理的北极将和磁南极重合（可能有20年的误差）。这将是历史上绝无仅有的事。目前处于加拿大的磁南极正以平均每年7.5公里的速度（或者每昼夜20.5米）向地理北极移动。而处于澳大利亚的地磁北极以更快的速度（每昼夜30米）向地理南极移动。

多少亿年以来，地磁的南北极一直在移动。历史上有一段时期，地磁的南极曾经位于朝鲜或北大西洋中部（地理北极和地磁南极相对应），甚至还有一段时间位于非洲。更奇怪的是，磁极的南北极曾经互相掉过位置！据估计在过去的8千万年中，磁极共颠倒过171次。为什么会产生这种颠倒呢？谁也说不清楚。

科学家是怎样知道地磁的变化呢？

这是通过对地质的研究得来的。史前的火山熔岩中含有天然磁铁矿。磁铁矿可以看成是由许多“小磁铁”组成的。在温度高的时候，这些“小磁铁”的排列是杂乱无章的。但是，当熔岩冷却下来，逐渐变为岩石的过程中，这些小磁铁在地球磁场的作用，开始按照南北方向顺序排列起来，等到熔岩变硬以后，小磁铁的磁极方向就不能再转动了。因此如果知道这些岩石的生成年代，也就知道了那个年代的地球磁极方向。地球磁极颠倒变化没有明显的规律，从3万年到200万年长短不等。

生活在地球上的千千万万生物肯定在进化过程中必须适应这个磁场。长期以来人们普遍认为地磁强度太弱不足以影响动物的行为。但是通过人造磁场的研究，有些昆虫爬虫和鸟类都是以磁力线为导向。美国对一些大学生的试验也表明人的辨向意识也受地磁影响。

那么，生物的指南针藏在什么地方呢？

这指南针一定藏在指挥整个机体的司令部——大脑中。

在海豚的头内发现了被神经纤维所包裹的磁铁，在蜜蜂、鸽子和某些细菌中都发现了氧化铁的颗粒。人们还发现一种磁性细菌，细菌中的磁性与地磁有关。人们猜想，生物体内的磁粒正如一个罗盘引导着候鸟，从一个洲不远万里来到另一个洲；引导着褐蝶一年一度从北美洲东部到墨西哥中部，引导着鸽子正确地返回家园。

对于鸽子的松果体的研究，发现对磁场反应十分敏感。大脑实验证明，在鸽子的头部挂上一小片磁铁，鸽子就很难找到自己的鸽巢。松果体是大脑的一个重要部分，对于人类来说，大脑中的这个指南针可能已经不使用了。

有的鱼类在回游时也借助于地磁场来定向，因为鱼的身体像一根导线一样在地磁场中做切割磁力线的运动，鱼头和鱼尾便会带上不同的电荷，鱼类通过这些可以判断自己的航向。

从吉尔伯特到现在，科学家一直关注着地磁。地磁不仅为旅行者指引方向，它对地球的生态还有潜在的影响。人们猜想，每一次地磁磁极的颠倒都可能给地球带来一场毁灭性的大灾难。不过这些都是假说，地磁成因的秘密还没有完全揭开，科学家正在努力地工作。

一位古怪的市长

过去，人们只把摩擦琥珀做为一种有趣的现象。而且，琥珀像宝石一样的贵重，是一般人所得不到的。自从1600年吉尔伯特为“电”这个神秘的自然力起了一个名字以后，电便开始进入了科学的殿堂。在《论磁》这本书里他列举了大量除了琥珀以外也可能用于摩擦生电的物品，给热衷于实验的人创造了条件。

不过，在17世纪，信息的传递是十分缓慢的，足足过了60多年，电的研究才跨进了一大步。有位德国科学家叫葛利克，葛利克对于电学实验有过很大的贡献，这一点读者可能不知道，但是提起马德堡半球实验，却几乎无人不知无人不晓。葛利克正是做这个实验的德国马德堡市的市长。

葛利克在青年的时代学过法律和数学，他曾当过德国埃尔富特市的工程师，后来回到故乡马德堡。但是在1631年一次战争中，该城被洗劫一空，葛利克和他的全家虽侥幸逃生，但两手空空，在重建家园的建设中他担任工程师，后来又当上了市长。

葛利克市长虽然把马德堡市管理得有条不紊，但是，马德堡市民对于这个喜欢在闲暇时间进行科学实验的市长常常敬而远之。因为愚昧的市民害怕他是与魔鬼混在一起的人。

使葛利克改变处境的是他的马德堡半球实验，葛利克早就产生过关于真空存在的念头。但是先哲亚里士多德断言，自然界不可能存在真空。葛利克不愿意与大家争论，而是想用实验来证明，他发明了抽气机，而且制做了两个精良的铜制半球。为此，他花去了自己的积蓄近两万美元。这在当时是一笔极为可观的数字。

葛利克把这个富于戏剧性的表演安排在德皇菲迪南三世来马德堡观察的日子里。他对于皇帝来视察有些提心吊胆。因为，皇帝是听到了一些关于他的流言蜚语才决定视察的。

正如大家所知道的，马德堡半球的表演是成功的。在皇帝和市民的众目睽睽之下，葛利克像变魔术一样先把两个铜球分开合上，表示分开合上是十分容易的。然后，用他改进过的抽气机把合拢的两个半球的空气抽掉，并关闭铜球的出气口阀门。此时，已准备好的4匹高头大马分成两对，每一对绑在一个半球的铁环上。尽管马夫用力赶起两对马匹，但是球的两半纹丝不动。最后，每边加到8匹马，总共16匹马，出尽全力挣扎拖拉，才砰地一声把两个半球分开。

这一声巨响，不仅向皇帝和在场的市民宣告了大气压力的存在，而且也给市民们上了生动的一课。

皇帝本来是打算借视察为名来训斥葛利克的，却被这场伟大的科学实验所折服。现在反过来鼓励葛利克再发现一些新奇的东西。对于一位科学家来说，这是再好不过的奖赏了。

世人不再说葛利克是疯子了。这是葛利克一生事业的转折点。从此葛利克把兴趣转移到电学方面。他细心阅读了吉尔伯特的《论磁性》，一段一行都不放过。还把吉尔伯特做过的实验，选了一部分重做一遍。也把自己的设想进行试验。不过，做试验时，要反复用布来摩擦琥珀或玻璃，这样做费时又很麻烦，葛利克是一位工程师，对设计机器是内行，于是他琢磨，能不能用一台机器来产生电呢？说干就干，他把硫磺熔化，倒进一个大的圆形玻璃

烧瓶里，趁硫磺熔融时，插进一根带把的木棒，等凝固后打破玻璃烧瓶制成了一个像现在篮球那么大的一个硫磺球，把木棒装在一个木制的支架上，就能用手摇动它了。

机器做好以后，葛利克马上进行实验，他戴上一只手套，然后把手放在硫磺球上，另一只手迅速地摇动它，硫磺球在手套的摩擦下立即产生了大量的电荷，可以吸引纸片、羽毛、木片、薄金属片等许多东西。葛利克把这玩意称做静电机。

从摩擦起电到静电机的发明，似乎并不困难。但是，这个硫磺球却为以后整整一个世纪的电学研究提供了最好的产生电荷的装置，促进了电学研究的发展。后来，美国普林斯顿大学的范德格拉夫，在 1931 年也利用摩擦带电的原理制成了一个高压静电发生器，它能用一个绝缘的布带向一个铜球不断地输送电荷，使铜球的电压达到 150 万伏。

贫而有志的格雷

活了 84 岁的葛利克去世了，电学的研究也就停止了。差不多过去了 50 多年，到了 1731 年、英国的科学家斯蒂芬·格雷才作出了进一步惊人的发现。格雷生活在伦敦贫民窟中，靠领卡儿特养老院的养老金过日子。他对电学有浓厚的兴趣，但是，却买不起书籍和器械。恰好他有一个叫惠勒的朋友，多亏惠勒的帮助他才做出了巨大发现。惠勒是一个富翁，他虽然住在华丽的住宅里，但不是花天酒地无所事事的人。他爱好科学，特别是对那些新奇玩意儿倍感兴趣。当他看到穷朋友格雷做的试验后，自己也被电迷住了。于是他成为格雷的资助人，出钱让格雷买书和设备，不久，两个人结成莫逆之交。

格雷没有葛利克那么有钱，他没有琥珀，甚至没有钱做一个摩擦起电的硫磺球。于是他只好用玻璃做为摩擦起电的工具。一天，他找来一根长长的空心玻璃管，从头到尾地摩擦它，然后去吸一根羽毛。羽毛贴在了玻璃管上，说明玻璃管带电了。他把玻璃管的两头用软木塞塞起来，再摩擦玻璃管，此时，一件奇怪的事情发生了，软木塞也能吸引羽毛。可是他并没有摩擦软木塞啊！

电能从一个地方传到另一个地方，格雷突然闪过这个念头，他立即把一根细棒插在软木塞里，细棒的另一端用一根绳子系着一个象牙球。当他摩擦玻璃管时，一点也没有碰着软木塞，象牙球居然能吸引轻小羽毛。看来，电经过软木塞，绳索传到象牙球上了。

能不能让电传得更远呢？

他在软木塞和象牙球之间连上一根长长的线，但是实验失败了。象牙球不再吸引羽毛了。难道“电”是这样衰弱，这么一点路就跑不到啦？

那么电到底能跑多远呢？格雷一点点缩短连线，他发现当线垂下来挨在地面上的时候，实验就不灵了。莫非是电跑到地里去了？为了不使丝线下垂，他做了许多铜制的钩子，钉在墙上用来勾住丝线，不让它们挨在地上。但是结果更糟。不仅象牙球不再吸引羽毛，连玻璃管本身也不吸引羽毛了。

反复的实验使格雷产生了一个想法，就是电会通过墙壁、地面或铜钩跑掉。从软木塞上扯出来的线索，由于过长垂在地面上，电便跑到地里；也可以通过铜钩子跑到墙壁里。于是格雷用丝线小心地把实验的线索吊好，使它不会靠近墙壁和地面，实验果然成功了，他使用的绳索长达 100 英尺时，象牙球仍能吸引住羽毛。

几个月的辛苦总算没有白费，格雷急于把自己的成功告诉给朋友惠勒，让他也分享成功的快乐。他不顾寒冷的冬夜，翻起大衣领子就向惠勒家走去。

格雷顾不得暖一下身子，就对惠勒说：“我找到实验屡次失败的原因了。”格雷从背包里取出一大捆丝绳重复了上述的实验，果然很成功。格雷说：“我发现，物质分为两种，一种是导体，像铜线；另一种是非导体，像蚕丝。做实验时，如果用导体钩住丝绳，就会把上面的电导走，换了丝线来吊住丝绳，就不会这样。”格雷的脑子里突然产生了一个绝妙的想法。他请惠勒叫了一个童仆来帮忙，他们用丝绳把孩子平吊在天花板上，就像是耍杂技一样，在孩子的下面放了一些羽毛，格雷用磨擦过的玻璃棒只接触孩子的胳膊，但是不一会儿羽毛就吸附在孩子的手上和身上，弄得他咯咯地笑起来。格雷说，“如果孩子站在地上，这个实验就做不成，因为地面会把电导走。人体也是导体。”

格雷的实验把自然界的物质区别成两种，一种是像丝线、玻璃那样的绝缘体，这类物质不容易通过电流；而另一种物质，像铜线则不同，它能让电荷顺利通过自己。当把摩擦过的玻璃棒用铜钱和地面连接时，电荷便会顺着铜线流入大地中去，所以玻璃管上的电荷就会消失。

格雷的重要发现，使人类掌握了控制驯服电的武器，当我们需要电流动时，用导电的金属把它接通；如果不让它流动，在那个地方就使用绝缘体，例如，电闸上的绝缘手把，电源插口上的胶木盖等。

瓶子里的隐身人

葛利克发明了起电机以后，产生电的方法简单多了。但是，每次作试验时都要转动这个硫磺球人们又觉得还是太麻烦了，好不容易聚集起来的一些电一会儿就散失在空气中了，所以，科学家们在寻找一种把电保存起来的方法。

在一次偶然的事件中，人们发现了这种方法。有一天，荷兰莱顿大学物理教授穆欣布罗克，异想天开地要做一个让水带电的实验。因为他知道，普通的水是导电的，就别出心裁地用一根绳子把一支枪管悬挂在空中，然后用导线把电机与枪管的一端连接，从枪管中的另一端起出一根铁丝，浸在盛水的玻璃瓶中。他的一位朋友用手托住玻璃瓶，穆欣布罗克起劲地摇动起电机，于是电通过枪管和铁丝进入水中。

在实验过程中，他的朋友想移动一下浸在水中的铁丝，但是当他把另一只手与铁丝相接触的那一瞬间，突然，一股强烈的电击打在他的手上。把他吓了一跳，差一点把瓶子掉在地上。穆欣布罗克接过来玻璃瓶，重复做了这个实验，也受到了强烈的电击。

这个水中充满了电的瓶子后来以莱顿大学的校名命名，被叫做莱顿瓶。为什么水瓶里的电，要比起电机产生的电强大得多呢？

穆欣布罗克在思考着这个问题，许多科学家也在思考。

人们虽然对莱顿瓶的原理，还不十分清楚，但是有趣的莱顿瓶传遍了科学界，也成为一种时髦的玩意，科学演讲的人若是预告将用莱顿瓶产生耀眼的火花，一定能吸引大批听众。有许多胆大的听众争相尝尝这电击的滋味。实验者用莱顿瓶放电杀死一些小鸟或小动物；还能跨过江湖水面把电送到对岸放电。莱顿瓶的发现被欢呼为科学的一大进展。

与此同时，对莱顿瓶实质的研究也在进行着，穆欣布罗克不同意克莱斯特的观点。他认为可能是瓶内的水起了把起电机产生的电贮藏起来的作用，不断地把电积累起来，便电变得越来越强大。人体在莱顿瓶放电中没有任何特殊的作用，只是扮演着一根导线和检验电流作用的角色，因为用一根铜线接在莱顿瓶上，也能打出一个大火花来。

他还发现，瓶内盛水也不是必要的。他想水和金属都是导体的，他把原来在瓶内装水改为在瓶子的内外壁上贴上一层薄薄的金属箔，瓶盖上插一个金属杆，杆的上端有一个小球，杆的下面有一个金属链垂下来与金属箔相联，从而改进了莱顿瓶。它同样具有蓄电的功能。于是，克莱斯特提出灵魂作用的观点，在事实面前不攻自破。

人们后来发现，把电装起来并不一定需要一个瓶子，如果将一个玻璃圆筒里外贴上金属箔，也能把电保存起来，甚至一块两边贴金属箔的平板玻璃也行。这就是现在使用的电容器。在物理学中有广泛的应用，例如，1930年科克罗夫特和沃尔顿在剑桥把一组这样的电容器连起，接上一个起电机，结果电压升到100万伏，这样高的电压把锂原子一下子劈成两半。

莱顿瓶的发现使静电学又前进了一步。在电池还没有发明的年代，科学家把莱顿瓶奉为至宝，成为静电实验室的重要仪器。

第二章 从“静”到“动”的电

40 岁的新兵

莱顿瓶的消息在 1750 年传到美国，带去这个消息的是一位名叫斯宾士的英国学者，他在波士顿讲学时，使用了莱顿瓶。美国的政治家、科学家、哲学家富兰克林恰巧有事来到波士顿斯宾士的实验室，就这样，在富兰克林的眼前展开了一个崭新的领域。

此时的富兰克林已是 40 岁的人了，他从一个印书学徒开始，通过自己的奋斗，成为了一个颇有名望的人，他作为费城的邮政代表，整顿邮务，改革市政；他发起成立救火会，热心社会福利事业，同时也致力于研究科学技术。富兰克林最早的发明是一种新式火炉，这种火炉节约燃料，炉温高，深受市民的欢迎，但是富兰克林却不接受宾夕法尼亚省打算授予他的专利权。富兰克林在美国创建了第一个科学团体，叫“北美增进有用知识哲学会”，此时他的科学活动正进入旺盛期。

起初，富兰克林做的只是模仿欧洲科学家的实验，从远道来观看试验的朋友，经常把他的家挤得满满的，妻子丽德也成为热心的观众和助手。

后来，富兰克林别出心裁地想一些新花样，有一次，他叫两位朋友并立在绝缘板上，一个朋友持绸布，另一位朋友手持玻璃管，彼此之间相互摩擦。富兰克林则站在地面上。两位朋友相互摩擦后分别都带上了电，为了向在场的人证明这一点，富兰克林伸出自己的双手分别和两位朋友接触，只要气候干燥，就会看到，在接触时他两只手的手指与对方手指产生的火花。但是，如果两位并立的朋友在摩擦后互相握一下手，产生一个火花后，富兰克林就再不能和他们之间打出火花来了。这个奇怪的现象在客人眼里简直像是魔术，但是却引起富兰克林的思考：互相接触以后，不再产生火花，说明他们不带电了，但是两个人都与地面绝缘，电没有办法跑到地里去，那么电上哪去了呢？

“必须弄明白摩擦带电的本质，摩擦为什么能带电呢？”无论是吃饭还是睡觉，富兰克林都在思考着这个问题，他用绸子摩擦玻璃棒，看到经过摩擦后的玻璃棒带电了，绸子也带了电。法国科学家杜菲这时已经提出存在两种不同的电的观点，因为有一次，他做格雷实验，把两小块软木包上金箔后吊在顶篷上，相互相隔几英寸，然后用带电的玻璃棒分别与两块软木接触，结果两块软木互相排斥。

还有一次，杜菲用毛皮摩擦过的松香棒去接触一个软木塞，又用绸子摩擦过的玻璃棒接触另一个软木塞，发现两个软木塞相互吸引。通过一系列不同材料的实验结果，杜菲把电分为两种，一种称为“玻璃电”一种称为“松香电”。

富兰克林用杜菲的方法去检验绸子和玻璃棒上的电，发现它们确实是不同的两种电，这使他提出一种设想：他认为电是一种微妙的流体，物质经过摩擦后，一种物质有了多余的流体，另一种物质会流体不足，多余和不足都会显电性。当绸子和玻璃摩擦的时候，玻璃得到了多余的流体，而绸子则缺少了这种流体，所以它们都带了电，但是所带的电不同。

富兰克林建议将有剩余的流体的情况叫带“正电”，流体不足的情况称为带“负电”。按富兰克林的假设：玻璃电为正电，松香电为负电。

正电和负电的名词，就是这样提出来的。

富兰克林是电学史上第一个正确阐述电的性质的人。

正确的理论使他的研究工作大踏步前进。仅仅一年的时间，富兰克林就走到了世界的前列，富兰克林证明了莱顿瓶内外两层所带的电极性正好相反，而且电的数量相等。为了加大电的容量，他做了几只莱顿瓶，把它们的内层和外层分别用两根导线连接在一起，这样做成的莱顿瓶组比一个大的莱顿瓶贮存的电量大的多，放电时产生的爆烈声阵耳欲聋。

攫取雷电的人

迷信的人对于雷电有各式各样的说法，欧洲人普遍认为“雷电是上帝发怒”，但是一些科学家则想力图揭开雷电的秘密。在雷电产生的时候，人们可以闻到硫磺或黄铁矿的气味。因此，许多人认为，雷电是一种易爆炸的气体突然燃烧所发出的声响和火光。过去富兰克林也认为是这样，他的实验改变了他的想法。他把莱顿瓶放电和关于雷电现象的记载进行了比较，发现它们有许多共同之处：它们都发出相同的光色；有锯齿般的形状；能被金属、水或冰传导；点燃易燃物；杀死动物；熔化金属；破坏磁性等特性。他越想越觉得雷电就是一种放电现象。他想通过实验来证明。

富兰克林把这种设想在 1750 年 7 月写信告诉给英国的植物学家柯林孙，以感谢柯林孙为他寄来的莱顿瓶，柯林孙把这些信件作为论文交给当时世界上最有权威的科学机关——英国皇家学会，但竟遭到他们的嘲笑。柯林孙确信富兰克林是正确的，就决定自费出版这些信件。富兰克林的文章发表后，立即引起普遍的关注，尤其是得到部分法国科学家和法国国王的热情赞扬。在法国国王的赞助下，科学家达利巴尔德按照富兰克林的实验设想，在靠近的玛尔利市镇建造了一个小屋，把一根 13 米高的铁竿立在屋内绝缘的桌子上。达利巴尔德还训练了一只会观察阴云的信鸽，当阴云来临时，信鸽便会叨着一根黄铜线从铁竿上引下雷电，1752 年 5 月 10 日，出现了雷雨云，当信鸽叨着铜线接近铁竿时，电火花激烈的噼啪声，火焰和硫磺味吓得信鸽丢下铜线就飞跑了。但是达利巴尔德的朋友，一位牧师勇敢地继续实验，并从铁杆上引出电火花来。

达利巴尔德写信给富兰克林讲述了上面的过程，并告诉富兰克林他的思想已不再是猜测，它在这里变成事实。

事事认真的富兰克林并没有把巴黎的实验看作是最后的结论，因为他认为 13 米的铁竿并没有伸进云层。后来有人改用 32 米的铁竿重复这个实验。可富兰克林认为这还不算高，铁杆并没有伸入云端里呢。

人们认为，32 米的铁竿已经够高的了，怎样才能再高一些呢？

突然，一个新的想法掠过富兰克林的脑海，为什么不把一个风筝放进云层里去呢？风筝飞得可是够高的，而且用风筝线可以代替铁杆把闪电引下来啊！这个实验既不需要国王出钱，也不需要别人的赞助，只需要一个用绢做的风筝即可。但是这个实验是十分危险的，不过富兰克林决定冒险试一下。

富兰克林用两根很轻的杉木做成一个小十字架，然后把一块大而薄的丝绸手帕的四个角扎在十字架的末端，这样就做成了一个风筝。还把一根根细的铁丝固定在十字架的直木条的顶上，使铁丝超过木架 1 英尺多，这样可以更好地引下天空中的电。

风筝做好了，只等待暴风雨的来临，1752 年 7 月的一天，费城的上空阴霾密布，一场暴风雨就要来临了。富兰克林赶紧跑到书房，从壁橱里取出风筝，还叫上了儿子威廉帮忙。两个人跑到附近的田野里，放起风筝，强风推着风筝扶摇直上，转眼就升入云霄，就在这时随着一声闷雷，大雨倾盆而下。富兰克林拉着儿子躲进旁边一所建筑物里。富兰克林把绸带紧紧地缠在手上，风筝线和绸带连接在一起，被雨弄湿了的风筝线变成了导体，靠近手的绸带是干燥绝缘的，这样可以防止把电引到身上。在风筝线和绸带的连接处，富兰克林挂上一把铜钥匙。