

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击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，这样就做成了一只风筝。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。

就这样，他们父子两个静静地等待着，一片雷雨云过去了，没有任何有电的征兆，富兰克林认为实验失败了，突然他看到风筝线和绸带上的纤维都直立起来了。这时，他很兴奋，因为他知道它们带电了，于是他用一个指头慢慢地靠近钥匙，当离钥匙还有一段距离时突然间，钥匙上射出一串强烈的电火花。这火花给他带来了无限的欢乐。他大声叫道：“威廉！我受到电击了！我捕捉到了天电！”

富兰克林叫威廉赶快到书房里去拿莱顿瓶，用铜钥匙给莱顿瓶充电瓶子里充满了电，他们终于把世代代认为是恶魔的天电装进了瓶子，他们小心翼翼的把莱顿瓶捧回屋子里，在屋子里倚窗相望不安的丽德，终于把这两个满身泥水的父子盼回来了，从他们脸上的兴奋劲，知道实验大获成功。

实验证明，天电的一切性质都与摩擦发生的电相同，他们终于证明了：天上的电和摩擦生成的电是同样一种东西。

看着丈夫和儿子脸上的笑容，丽德想起她那次心有余悸的电击，也感到无限的安慰。

应该说，老天爷对富兰克林特别恩惠，因为这种风筝实验是十分危险的。1753年7月26日，俄国科学家利赫曼在圣彼得堡研究天电时，把一根导线接在屋顶的一根金属杆上，另一端接在验电器上，当一场大雷雨即将来临时，突然一个球形闪电，把坐在验电器旁边正俯身观察验电器的利赫曼击毙。利赫曼是第一位献身于电学研究的科学家。这个事件曾引起科学界的震惊。

为了安全，这样的实验读者是不允许再去重复进行的。

许多人对雷电的研究产生了戒心，但是富兰克林不仅没有退缩，反而暗下决心，一定要消除雷电给人类带来的灾难。

富兰克林在实验时早就注意到，如果在莱顿瓶上接上一个尖端物时，更容易产生电火花。这件事使他联想到雷电，雷电产生破坏的原因，是由于云层和建筑物之间产生大规模的放电，如果能想个办法，让云中的电一点一点的放出来，就不会产生危害了吗！想到这里，他立即动手做了一个巧妙的试验模型，他用一只带电的盘子当作带电的云彩，把一个放在地面上的锤子比作建筑物，当盘子从锤子上方经过时，会出现放电的火花，如果在锤子竖起一根针，就再也看不到电火花了。

原因是，尖端的地点最容易放电，当电从尖端一点一点的放出来的时候，产生的小火花就几乎看不到，如果在建筑物的顶上装上一根和大地连结的细金属丝，带电云经过的时候，云层中的电荷就会慢慢地被引入到地下。这样建筑物就不会受到雷击了。富兰克林就这样发明了避雷针。

1754年一位叫迪维什的牧师首先在普林迪茨实现了富兰克林的设想，6年以后富兰克林在费城的一座大楼上立起一根避雷针。避雷针的出现也引起了一些神学家的反对，他们的论据是，雷和闪电是上帝向人表示愤怒与惩罚的一种行为，如果用避雷针干扰了上帝的行为，是最大的不敬。一些居民也认为，在屋顶上竖一根铁杆是不吉祥的。

但是，事实胜于雄辩，一场雷雨过后，神圣的教堂起火了，把上帝的宝座连同耶稣蒙难的十字架一烧而光，而装了避雷针的大楼却安然无恙。

于是避雷针就像雨后的春笋一样在各地建立起来，仅美国费城就装了400多根避雷针。

避雷针传到英国，却遭到了英国女王的反对，因为发明避雷针的富兰克林是一个反对英王统治，积极参加美国独立战争的英雄。不懂科学的女王竟

下令把尖尖的避雷针改为圆球形的，以示与富兰克林的发明有所区别，这项决定遭到英国皇家学会主席的反对，最后他不得不辞去自己的职务。但是圆球形的避雷针不仅不能避雷还起了招雷的作用。雷电专门打这些建筑，真是让人啼笑皆非。

直到 1782 年，英国才竖起了第一根避雷针，科学得到了胜利。

蛙腿的启示

伽伐尼在意大利美丽的波洛尼亚大学担任解剖学教授，他有一个奇妙的设备完善的实验室，在实验室里不仅有许多生物标本及解剖用具，还有像起电机、莱顿瓶这类的时髦电器设备，伽伐尼早年学习神学，后来转向学医，在 1775 年时已成为关于人体、疾病和治疗方面的权威学者。

一天，伽伐尼指导学生解剖。有一位调皮的学生没有认真的做实验，反倒对旁边的电机发生了兴趣，他趁教授不注意的时候摇起了起电机，突然啪的一声，起电机和盛蛙腿的铜盘打出一个大火花，把这个学生吓了一跳，伽伐尼和同学们都转过身来，但是此时一个更奇怪的现象引起了大家的注意，摆在金属盘里的蛙腿随着电击抽动了一下，教授的眼睛瞪大了，他顾不上批评这位淘气的学生，而让他重新摇动起电机，全体同学都注视着那个蛙腿，啪的一声铜盘上又打出一个大火花，蛙腿随着电击又抽动了一下，学生们你看我，我看你的议论纷纷。

伽伐尼走过来，用解剖刀的刀尖翻动一下蛙腿打算探个究竟，此时蛙腿像活的一样忽然又跳动了一下，这可又使伽伐尼大吃一惊，他用颤抖的手拿着解剖刀又去触动一下蛙腿，果然又引起蛙腿肌肉的抽搐。实验课再也不能正常的进行下去了，同学们都回到自己的桌子上，用解剖刀去触动蛙腿，希望能看到同样的现象，不过有的学生能使蛙腿抽动，有的则不能，教室里像开了锅一样，同学们在实验室里跑来跑去，伽伐尼也顾不上去管学生，只是满肚疑惑，不断用解剖刀去触动蛙腿，直到下课铃响。

尽管伽伐尼不明白其中的道理，但是他像一切科学家一样不放过任何偶然现象。下课后，他仍留在实验室里继续进行实验，并且把结果认真地记录下来。伽伐尼发现，当把蛙腿不放到金属盘子内而放在木托盘中时，无论用刀尖怎样去碰它都不抽搐；如果用刀子的木柄去接触，蛙腿也不会抽搐。但不明白那都是为什么。伽伐尼很有耐性，他花费了 11 年的功夫去研究这件事。

1780 年 11 月 6 日伽伐尼发表了一篇论文，文中说他发现了一种“生物电”，按着伽伐尼的说法，我们的灵魂不是别的，而是肉体的电，欧洲各地的科学家都津津有味地阅读着他的文章，教会也认为这是一个对上帝赐予我们的灵魂的极好证明，“生物电”成为科学界人士的热门话题：蛙腿也成为各个实验室的标准“设备”之一，许多有名望的科学家都忙于用小刀戳蛙腿令它们抽搐，大家花费了无数的时间去研究蛙腿的神经和肌肉，试图把蛙腿发电的关键部位找出来。

但是，也有一些人怀疑这种纯粹“生物电”的观点，因为在生物学家伽伐尼的论文中，充满了神秘的色彩，物理学家也在做蛙腿的实验，他们更多的是使用莱顿瓶，莱顿瓶的电线按在蛙腿上，产生抽动现象更加厉害。他们认为这是一种纯粹的电现象，与蛙腿无关，人们展开了激烈的争论，科学分为两派。

走出神秘的王国

有一个最不肯接受“生物电”的人就是伽伐尼的同胞，意大利帕维亚大学的物理学权威伏打，他发明了许多与静电有关的设备，他发明的起电盘在现代的物理实验室中还能见到，为此在1791年他获得英国皇家学会的科普利奖章，并被选为该会会员。

伏打也曾和其它的科学家一样用小刀去戳蛙腿，但是，他的兴趣并不是在看看蛙腿如何抽搐而是努力寻找令蛙腿抽搐的电是从哪里来的？为了解决这个神秘的问题，达到废寝忘食的地步。

1794年伏打用两种金属制作了一根弯棒，他把一头放在嘴里，另一头靠在眼睛上，当金属棒与眼睛接触的一瞬间，眼睛里有一闪的亮光。如果是同一种金属做成的棒就不会有这种现象。还有一次他用舌头舔着一个金币和一个银币，当用一根导线把金币和银币接通时，舌头就会尝到苦味。伏打认为，这些现象都是电造成的，而不是生物特有的，但是，电从哪里来的呢？

他想可能是从两种金属加唾液来的。唾液是一种复杂的化学物质，它能使金属生锈，在这种化学反应中会不会产生电呢？

为了证实自己的想法，伏打做了一个验电器，可以检验微小的电压。当它把一个锌制的圆片和一个铜圆盘直接接触到一起以后，发现锌带正电，铜带负电，他又试验了许多金属，发现只要两种金属不同，就会带上不同种的电，伏打把这种现象叫接触电势差。这就证实了电与两种金属有关，伏打把手头能找到的各种金属都拿来进行实验，并且按产生的电势进行排队，制成了一个表格。

伏打用了大量的铜片和镀锌的铁片交替放置，中间再用一层层在盐溶液里泡过的布片隔开，制成了一种称为“伏打电堆”的东西，果然从这种电堆的两极引出的电线上打出了电火花，这就是现代电池的原形。

1800年3月20日伏打送了一份描述自己发现的手稿交给伦敦皇家学会发表。但是，当时负责皇家学会发表工作的卡理斯尔和尼科尔逊两位先生，压下了论文，剽窃了伏打的成果，他们重复了伏打的实验，用自己的名字发表了，但是，这种丑恶的行径马上被识破，在科学史上留下了一个臭名。

伽伐尼看过伏打的论文后，表示坚决反对，因此在两位意大利人之间展开了一场旷日持久的论战。

伏打电堆的发明使伏打的名字立即传遍整个欧洲，因为，这是人类第一次不再用摩擦的方法产生电，伏打电堆产生的电流是持续的，为电学的进一步研究提供了最基本的条件。1801年，法国皇帝拿破仑一世亲自观看了伏打在学术会议上的表演，伏打一面进行实验一面解释说，“是伽伐尼发现了两种不同的金属能产生电，是命运以伽伐尼的手推动了事情的发展，就这样，伽伐尼发现了电池，而他本人却并未觉察到这一点。”

拿破仑授与伏打一枚精制的金质奖章，还封他为伯爵，他还当上了参议员。

但是最高的荣誉却不是来自统治者之手，而是来自他同辈的科学家，1881年，在国际电力学代表大会上决定把电压的单位命名为“伏特”，这是为了纪念他的发现而以他的名字命名的。

当然，人们也不会忘记伽伐尼，当人们把伏打发明的电池称为伏打电池时，伏打却谦虚地说：“应该叫伽伐尼电池”。在伽伐尼一生的最后十年中，

伽伐尼的名字已家喻户晓了。1820 年根据安培的提议，把检验电流的仪器命名为伽伐尼计，所以现在电流计的简称为“G”，就是伽伐尼的字头。

电和化学的连姻

伏打电池的发明使人类有史以来，头一次有办法产生一股持续的电流，从此电学的发展就像插上了翅膀一样。许多令人振奋的消息不断传来。

一个重大的功绩就是电和化学的联姻，它给我们生活带来的变化，也许是伏打所没有想到的。

使电学和化学联姻的月下老人，应首推英国的戴维了。1778年出生的戴维，是一个木匠的儿子，他的青年时代是在贫困中度过的。上学的时候戴维不喜欢学校的功课，所以不久就辍学去给一位药剂师当了学徒。但是这份工作把他引入了一个奇异的化学世界，使他爱上了化学。因此，他在药剂师家中开始了自学。他不仅学习书里的科学内容，还要亲手实验来验证那些理论，这给他的东家带来了一些小小的灾难，实验室里常常传来爆炸声，还夹杂着有毒的烟雾。主人只好把他解雇了。但是，戴维经过自学，最后成为一名化学家。20岁的时候，戴维竟然成为一所气体医疗研究院的主任。

戴维的兴趣非常广泛而且有极强的探索精神。在气体医疗研究所期间，他用化学的方法制造出各种气体，而且每次都冒险地去呼吸一下这种气体，他吸过氢气、氧气、纯一氧化碳等，有些气体几乎使他窒息，但是戴维的鲁莽行动也得到了报偿，就是他发现了笑气（一氧化氮），这是一种使人有点眩晕，陶醉的气体，常令人大笑的气体，后来用于做牙科手术的麻醉剂。

戴维真正成为一名世界著名的科学家是由于一个偶然的机遇引起的。

当时英国皇家学院是一所很有名气的大学，但是经费日渐短绌，虽然有班克斯爵士的资助，仍然很难维持下去。

创办这所学院的伦福德爵士，打量着这个拥有最新出现的电池和其它静电先进设备的实验室，产生了一个念头，“能不能举办一些电学讲座，表演各种新奇的电学现象来筹集资金呢！”这倒是个好主意，但是人们会不会掏钱买票来听讲座呢？不过，无论如何是值得试一试的。

要使科学讲座受欢迎，就需要有一个优秀的演讲人。一定要讲得让人听了开心，看得高兴才行。经过朋友的介绍，戴维来到皇家学院伦福德的办公室里。经过一番交谈后，戴维被聘为该学院的讲师。1801年的一天晚上，伦福德和听众一道坐在大厅里听戴维的头一次演讲。这位青年讲的好极了。伦福德如释重负，疑虑皆除。戴维精通化学和电学，他知道如何引起听众的兴趣。他那魔术般的表演，使每一项试验都引起欢呼。当人们离开会场时，真是满心畅快，心满意足。

戴维绝不以出了名，赚了钱为满足，因为他最热衷的是进行科学研究。他是一个化学家，讲座又使他精通了电学，他对伏打电池也入了迷。思想锐利的戴维在思考，既然化学能产生电，那么电能不能产生化学反应呢？

最早思考这个问题的是英国科学家尼科尔逊和卡莱斯勒，在伏打给皇家学会会长描述了他的伏打电堆之后六个星期内，他们就发现了当往水里通电流的时候，能见到气泡产生。这是1800年5月2日的事。

富有经验的戴维得知这个消息后，如获至宝，就像得到了埋藏宝藏的地图一样，他立即动手重新做了这个实验。

电解水的实验在戴维的面前展现了一片完全荒芜的土地，人类还没有开垦它，这里遍地是黄金，而戴维就是一位幸运的拓荒者，他知道，一个新的领域，一个完全陌生的电化学世界正在向他招手。为了进一步研究，他亲手

建造了有 250 多块金属板的电池组，当时这个电池组在世界上是首屈一指的。戴维是一位化学家，他知道许多化合物可以分解成更简单的，我们现在叫作元素的物质。他相信电有力量能把那些紧紧连在一起的元素分解开。他不仅向物质的水溶液通电，而且向各种熔融状态下的物质通电。结果是惊人的，1807 年 10 月 6 日，电流通过熔融的钾碱，释放出一种金属。当把这种闪亮的金属小块放到水中的时候，小块金属在水中旋转，奔跑并放出淡紫色的火焰。戴维高兴得如醉如狂地跳起舞来。

这种金属，戴维把它叫做钾，钾的化学性质极为活泼，能撕裂开水分子和氧化合，放出的氢气燃烧后发出淡紫色的光。

戴维实际上发明了电解的方法，一条崭新的化学途径从此出现了。戴维就像降落在一个童话世界里，发现新的元素几乎是垂手可得。在发现了钾的一个星期后，他又从苏打溶液中电解出钠。1808 年，他在采用白则里建议的方法基础上又经过某些改进，分离出钡、锶、钙和镁。他还分离出硼，但是硼的发现比另一个“淘金人”盖吕萨克晚了九天。

铝是世界上储量最丰富的金属，但是又是最难提炼的金属之一。奥斯忒 1825 年首先制得了铝，当时他用金属钾在汞中配成的溶液处理氢氧化铝，得到一种金属残渣。但他不知道是什么。1827 年德国科学家韦勒首次弄清楚了那是铝，并首先提炼出纯铝，但是提炼费用十分高昂，直到 1852 年，生产一磅铝的成本要到 545 元美金，因此铝比金银更贵重。你可以设想，把你厨房里的一把铝制的平底锅拿回到 100 多年前的时代，会价值连城的。

过了 29 年，法国人德维尔搞出了一整套铝的工业生产法。1855 年在巴黎博览会上展出了一些铝条。每磅要 90 美元。法国皇帝拿破仑三世到博览会参观，见到这种金属，简直着了迷。德维尔用铝制成一件嘎啦嘎啦响的玩具送给皇帝，让襁褓的王子玩，皇帝很高兴，于是订购了一批铝质刀叉，供举行国宴时使用。这种餐具只给予特别的贵宾，等级稍低的贵宾只好委屈他们使用普遍的金银餐具。

拿破仑三世曾想用铝制成兵器，但生产过程太慢，成本又贵，只好作罢。只让一些士兵戴上一个铝制的小牌，以炫耀拿破仑的财富。但科学家在这方面的努力却一直没有停止。

在实现工业大规模炼铝方面，要归功一名青年学生，他的名字叫霍尔。有一天，一位教授偶然说到，谁若能发明一种炼铝的便宜办法，不仅对人类是重大贡献，自己也会成为百万富翁。霍尔决心试一试。

霍尔大学毕业后，仍念念不忘这件事，回到家里，向父亲表示要独自进行试验。他父亲很支持儿子的想法，这位老先生觉得，儿子暂时不出去工作赚钱，在家里呆一段时间也无防，聪明的儿子也许真能发明点什么。

父亲答应儿子利用屋后的小木棚。霍尔知道化学家本生已经利用电解的方法得到铝，但是当时由于缺乏充足的电力，不能大规模生产。1867 年发电机发明后，人们不必只依靠电池获得电流。这正是研究大规模生产铝的大好时机。

任何一个发明家都不可能超越他的时代，但是可以把握住时机。发电机的出现为霍尔的伟大理想铺平了道路。

霍尔做了一些理论探索后，就着手在木棚里为自己安装设备。必要的设备很快安装好了，年轻的霍尔便埋头工作。他日夜努力，不断地改变矿石的配方，一个星期一个星期过去了，在短短 9 个月里，果然找到了一种用电来

提炼铝的最佳方案。电解法不仅可以从矿石中取出铝来，也可以用于精炼金属。电线里用的铜纯度很高，就是用电解的方法提炼的，俗称电解铜。

电镀是电解原理的一种应用，电镀美化了我们的生活：闪亮的自行车车把，镀银的刀叉，录音机上银色的按钮……它们能穿上这么漂亮的金属外衣，都要归功于电镀。

奥斯卡奖的金像也是用电解法制成的，这种工艺叫做电铸，工人先做一个金像的石膏模型，然后在模型上刷上一层导电的石墨，放在电解槽内通电，一个极板是黄金，另一个极板是金属模型，经过一段时间后，黄金就通过槽内的电解液逐渐沉积在模型上，最后制成了一个中空的纯金金像。

第三章 电磁学中的“哥伦布”

和“拓荒者”

两股道上的马车

自从吉尔伯特在他的著作中断言电与磁是两种截然不同的现象以来，电和磁一直象是两股道上跑的马车，许多著名的科学家对吉尔伯特的观点奉为信条，深信不疑，例如在电学上有重大贡献的库仑（见电磁大厦的基石一章），他发现了电荷之间的相互作用规律，但是认为电和磁石不可能相互作用，在当时这种观点是写在物理书上，上物理课的时候，老师们常常对学生说，电是电，磁是磁，电和磁之间没有什么关系。

但是，也有许多人表示怀疑，因为有许多自然现象启发了他们：有一次在暴风雨中，雷电击中了一个古老的城堡，挂在墙上的宝剑竟带上了很强的磁性。雷电使铁器磁化的事情也时有发生；富兰克林在研究避雷针的时候，用钢针在莱顿瓶上放电，也发现钢针变成了磁针。于是人们猜想，电和磁之间一定有些关系。电是不是能产生磁？但这仅仅是一个猜想，在当时这种论点不能写在教科书里。

哥本哈根大学的教授奥斯特也是一个不同意库仑观点的人。他受到谢林哲学思想的影响，认为，电的吸引和磁的吸引简直太相似了，正电与负电、南极与北极，这里面一定有共同的东西，问题是用什么实验方法来证明它。

一个偶然的机遇突然降落在奥斯特的身上，使他成为发现电磁学新大陆的幸运儿。

那是一堂极普通的物理课，像往常授课一样，奥斯特把一个伏打电池摆在桌子上，为了向学生讲授电池的作用，他把一根根细的白金丝连在伏打电池的两极上，不一会儿电流把白金丝烧得通红。学生们瞪大眼睛看得出神。

不知谁把一只罗盘放在桌子上，其实这件东西与本次课的内容毫不相干。奥斯特又不经意的把它放在白金丝下面，当他向白金丝通电的时候，偶然向这个罗盘瞥了一眼，他发现罗盘的指针发现了转动，不再指南北，好像受到电流的作用，但磁针既不指向电流方向，也不背向电流方向，好像与电流方向成直角。奥斯特简直不明白出了什么毛病，他用手揉了一下眼睛，摇摇脑袋，让自己清醒一下，然后把电断开，罗盘又正常了，重新指向北面。他掉换了一下电流方向，磁针的偏转也换了一下电流方向。学生们看着这位有些感到困惑的教授，交头接耳，奥斯特教授从来没有这样心不在焉的上过课，而奥斯特却激动万分，他巴不得早点下课。因为，他知道他已经做出了十分重要的发现。

下课后，学生离开了教室，奥斯特却留在那里，想核对一下他刚刚发现的东西。治学态度严谨的奥斯特想，也许是白金丝发出的热使磁针转动，于是他在一块玻璃放在导线和磁针之间阻断热空气流，但是实验结果依然如旧。如痴如狂的奥斯特不断地重复着这项实验，甚至忘记去吃午饭。

实验室里，挤满了他的同事，教授们都惊奇地瞪着大眼看着奥斯特的实验。奥斯特在通电导线和磁针之间放上各种可以找来的东西，除了玻璃，还有木板、树脂、陶器、水、石头、铜片等，他发现这些东西都不能割断电和磁之间的相互作用。

奥斯特把发现的所有事实和观察结果都写了下来，送到法国杂志《化学与物理学年鉴》去发表。这篇论文在1820年末发表了。在论文的前面编者加了如下的说明：

如果说电磁学中有“新大陆”，奥斯特就是电磁学中的“哥伦布”，一

千多年来，电与磁一直是分道扬镳的，作为两个孤立的学科进行研究，因此进展不大，奥斯特发现了电和磁之间的关系，开启了电气时代，也许它比任何一项其它发现的贡献更大，但是这项发现看起来又是那样的简单，有一次著名的生物学家巴斯德向学生讲述奥斯特的故事时说了一句现在几乎人人皆知的名言：

“ 在观察领域中，机遇只偏爱那些有准备的头脑。 ”

比蚂蚁的力量还小

奥斯特的发现像一声春雷震动了欧洲，震动了全世界，科学家像听到了一声集合的号令，集合在向电磁学进军的大旗下，人人摩拳擦掌，个个精神焕发。

消息传到巴黎，引起了著名的法国数学家和物理学家安培的注意。

当奥斯特的那篇关于电和磁有相关联系的论文发表时，安培已经在多种工艺学院工作了14年。对这一现象，安培和欧洲所有的物理学家一样兴奋，他立即走进实验室，把全部精力投入到实验中。他希望用实验来揭开更多的电磁秘密。果然，不久安培就有了一连串惊人的发现。

安培面对看通电导线附近偏转的磁针，陷入了深思：既然电流可以让磁针偏转，那么电流必然有磁性，两股电流之间是否有相互作用力呢？于是他两条电线并排放在一起，向导线里通以电流，预期中的事情并没有出现。

问题出在什么地方，是不是电流太小了？安培苦苦的思考着这个问题，两个星期过去了，安培把自己关在实验室里，他把电流加大，再加大，导线已经被电流烧的发烫，终于他看到了两股电流之间的微弱吸引力。

现在他明白了，电流之间确实有相互作用，但是太小了，为了减少阻力，安培把两根导线悬挂起来，彼此靠得很近，下端用水银作为接点通电，当两股电流沿相同的方向流过平行的导线时，它们相互吸引；电流沿相反的方向流动时，它们相互排斥。这种作用实在太小了，比蚂蚁的力量还小，所以很难发现。

为了寻找电流之间相互作用的规律，安培又花了几个月的时间集中精力研究，他把极精巧的实验和高超的数学技巧结合起来，设计了一种类似天平的仪器，用来精确地测量通电导线之间的作用。经过不断地努力，安培终于找到了电流之间相互作用的磁力的规律，现在我们把它称之为安培定律，把电流产生的磁力叫作安培力。

安培的同事阿拉哥发现铁屑可以被电流吸引，而且铁屑可以在导线的周围排成一个以导线为圆心的同心圆。这一点启发了安培，安培伸出了右手，握住通过电流的直导线，大拇指指向电流方向，弯起来的四指方向，就恰好是导线周围磁针的指向。这是一个多么简便的方法，过去对于通电导线周围磁针谜一样的指向，总是弄不太清楚，如今确定磁场的方向，变得非常简单、清晰。这就是众所周知的：“右手螺旋法则”。

历经艰辛的欧姆

关于电流的欧姆定律几乎每一个初中学生都知道，但是很少有人知道发现这个伟大定律的科学家欧姆的艰苦历程。

欧姆是位法国物理学家，1789年出生于埃尔兰根，他的父亲是一个手艺高明的锁匠，他自己虽然与科学无缘，但是却煞费苦心地要使欧姆受到科学教育。欧姆终于进入埃尔兰根大学学习，并获得了博士学位。

30岁时，欧姆当上了科隆耶稣中学的数学、物理教师。他在那里工作了9年，他的工作十分出色，他的一名学生迪里希莱特后来成为大名鼎鼎的数学家。但是欧姆并不满意这里的工作，他的理想是成为一名大学教授。

为了达到这个目标，欧姆必须做出一些重要的研究成果。但是，作为中学教师进行科学研究有许多困难，他缺少必要的时间和资料，没有志同道合的同事来进行交流。因此，欧姆在科学的荒原上是一个孤独的探索者。实验缺少资金和仪器，好在他是铁匠的儿子，从小看着父亲用灵巧的双手为人们制作各种精巧的锁头，自己也练出了一定的本领。因此欧姆有能力为自己制造各种仪器。

研究从什么地方开始呢？

欧姆注意到，电流在电线里流动的过程，它的“能力”在不断地衰减，就像热量的传递过程一样。为了研究各种金属的导电能力，欧姆遇到的第一个问题就是必需精确地测量电流强度，他设计并动手做了一个电流扭秤，当有微小电流流过时，扭秤的指针就会转动，这种类似的扭秤的实验装置，现在在实验中还可以看到。

下一步就是自己制造导线。由于要精密的测量各种金属对电的传导率，所以导线的直径要求很严格，他把各种金属用敲打、拉制等方法制成粗细相同，直径极其均匀的导线，用以测定金、银、锌、黄铜、铁等金属对电的传导率。

欧姆把这些精心拉制的导线分别接在伏打电池上，再接上他的电流扭秤，不断地进行实验，并认真的记录下实验结果。

在他的笔记本上，可以看到一连串数据：在相同的长度下，不同材料导线的电导率的数据如下：铜为1000，金为574，银为356，锌为333，黄铜为280，铁为174，铂为171，锡为168，铅为97。

欧姆制成了8根粗细相同，但长度成倍数增加的铜线。分别接入电路中，为了减少由于接触引起的电阻，欧姆用水银杯作为电路的接通点。用电流扭秤去测量电流大小，并认真地把数据记录下来。制成了一个表格。实验进行了数天，表格也挂满了欧姆的小屋，这些纷乱、枯燥的数据，简直让人眼花缭乱。

要从这一堆数据中找出一些规律，还真得有些勇气，因为实验数据都是不准确的，任何人要想从一堆实验数据中寻找规律，都需要有一定的胆识，如何去粗取精、由表及里，也必须有一定的远见卓识才行，欧姆对这些数字大胆的动了一次手术，就像砍去树杆上无用的枝叉，突然他看到了一条通天大道。

原来，电路中的电流、电压、电阻有如此简单的比例关系。这就是我们现在都知道的欧姆定律：通过导体的电流与加在导体两端的电压成正比与导体的电阻成反比。

欧姆定律如此简捷的形式，正好说明大自然本来就是简单的统一的，当我们打开电灯，收音机、电视机时，都是在证明欧姆定律的正确性，因为这些东西都是依据欧姆定律设计出来的。

最后，欧姆在自己的国家也得到了尊重。1849年，他被任命为慕尼黑大学教授。实现了他终生的愿望。他一生的最后5年是在壮志已酬的无忧无虑中度过的。在他逝世后，人们在慕尼黑树起了他的塑像，并以他的名字命名一条街。

电阻的单位被国际会议定名为欧姆，使欧姆的姓氏更加永垂不朽。

戴维的伟大发现——法拉第

1829年戴维在日内瓦去世，据说，在病中有人问他生中最伟大的发现是什么，他毫不犹豫地回答说：

“我最伟大的发现是法拉第！”

在他一生众多的发现和发明中，为什么戴维最推崇是他对于人才的发现呢？

在科学技术的发展中，重要的是人，在电磁学史上，法拉第是一位举足轻重的人，是他真正开启了“电气时代”下面让我们讲讲法拉第的故事。1791年9月22日法拉第出生在英国萨里纽茵顿，法拉第的父亲是个铁匠，在法拉第5岁那年，父亲带着全家搬到伦敦的城外，情况就变得更糟，父亲常常闹病，身体一天天虚弱起来，最后不得不把小小的铁匠铺也卖掉，全家靠救济粮生活。

13岁的法拉第，不得不在别人读书的年岁出外谋生。开始法拉第卖报纸，后来就在一家书店里学徒做装订工作。在法拉第的时代，书籍的价格很高，一般人是买不起书的。一本书读破了送到书店里重新装订一下，换一个好的封面又变成一本新书，所以书籍装订这件工作十分需要。

法拉第是一个十分乖巧的孩子，他工作认真从不偷懒，因此书店老板里波十分喜欢他，这使法拉第得到了极好的读书机会。他阅读物理学，大英百科全书里的电学文章，也读拉瓦锡著的化学，慈爱的书店老板从来不阻止他。

有一天，书店里来了一位客人和老板谈天，他们谈起戴维的科学讲座，关于戴维，我们前面已经了解到了。他的化学讲座十分吸引人，这位客人把听戴维讲座的一张票送给老板里波，邀请里波一起去听讲座。里波对科学兴趣不大就辞谢了邀请，但是他忽然想起法拉第，便对客人说：“你能带这个孩子去吗？我相信他一定愿意去，店里的科学书籍都让他读遍了！”

可以想象，法拉第会有多么高兴，法拉第换上一身干净的衣服，拿出自己精心订制的笔记本走进这科学的殿堂，那是1812年冬春之际的时候，一连四个晚上，法拉第认真地聆听了戴维精采的演讲，并认真地做了笔记。这个孩子觉得每次听演讲都是一件值得纪念的大事，事实，这对我们后代来说也是值得纪念的一件事，因为伟大的科学家就是从这里起步的。

法拉第用全部的业余时间来整理戴维的讲课笔记，仔细地抄写在白纸上，之后还给这些笔记精心加进彩色插图，然后又装订成册，总共386页，又给它装订上一个皮子封面，就像一本精美的书。法拉第不时地拿出来看看，简直爱不释手。

法拉第学徒期满，不得不离开慈祥的里波，到另一家印书店去当正式的装订工。新老板德拉罗舍是一个喜怒无常，脾气古怪的人。他很赏识法拉第的装订技术，但是对法拉第在工作时间忍不住看看书却大动肝火。法拉第在那里的收入较高，但他的理想绝对不是当一名装订工人或书店老板，他最热爱的是科学。当时对于一个没有上过学的苦孩子，搞科学无疑是一件异想天开的事。

法拉第想起戴维，能不能求助于他，但是他立即打消了自己的念头，一位鼎鼎大名的科学家怎么会去帮助一个21岁的年轻的订书工人呢？

不过，法拉第善良的天性使他相信世人都会像自己一样善良。于是鼓起了勇气试一试。法拉第写了一封十分恳切的信，并把那本精心订成册的笔记

一道寄去。戴维很喜欢法拉第，给他找了一个杂工的工作。

法拉第在皇家学院的工作纯粹是打杂，他不仅要把做过化学实验的瓶子刷洗干净，还要扫地、送信、取报纸。但是，他的周围都是梦寐以求的仪器设备，每天都可以看到最新出版的科学工作报告和论文。他虽然是个打杂的，但是，在阅读这些科学报告的使用科学仪器上和一名真正的科学工作者有同等的权利。他努力把工作做得又快又好，余下的时间就用来验证自己的许多想法。不久，法拉第就被升为一个实验助理员。

戴维 33 岁才结婚，妻子是一位有钱的年轻寡妇。婚后不久，戴维便动身周游欧洲进行学术交流和短期的研究，戴维需要一个助手，他选中了法拉第，对一个初出茅庐的助理实验员来说意义重大。

在巴黎法拉第认识了不少法国著名的科学家，其中有两位对他十分友好，那就是电学大师安培和著名的化学家盖吕萨克。他们看出戴维这位助手超凡的地方，并乐意给他一些指点。

回到英国，法拉第在科学上已经变得成熟起来，他从一个助理员升为正式的研究人员。他以无比的热情工作着，实验室就是他的家，他不仅协助戴维工作，而且能够进行独立的研究，他的进步远远超出了戴维的想象。1816 年他在《科学季刊》发表了第一篇化学论文，初露锋芒。

1825 年 33 岁的法拉第当上了实验室主任，法拉第在化学方面有许多贡献，例如，他发现加压可以使二氧化碳液化，获得了华氏零度，也就是摄氏零下 17.7 度的低温，因此他可以被认为是低温学的先驱，在有机化学的研究中他发现了一种重要的化合物一苯。

当时，电解法已经风行欧洲，戴维用电解法提炼了许多金属，但是电解的规律人们还不十分清楚。1832 年法拉第通过实验提出了著名的电解定律。

在伦敦博物馆里珍藏着的法拉第的科学日记表明，从 1820 年到 1862 年，法拉第从未间断过记日记，英国皇家学会在 1932 年出版的法拉第日记有七大厚本。当你翻开这厚厚的一摞日记本的时候，会在 1821 年到 1831 年这部分的每一页上，都看到一个醒目的“NO”字。“NO”，在英国里代表否定，为什么法拉第在每一页上都否定自己呢？

原来，这里记录了法拉第十年以来探索磁生电的艰苦历程。

1821 年法拉第在自己的日记里写下了一个闪光的设想：“从磁产生电！”他确信电和磁好比一是枚硬币的图案和字样，是同一事物的两面，这虽然只是法拉第的一种直觉，但反映了他对自然规律的一种信念。

当时，世界上探索这件事的科学家不只法拉第一个人。德高望重的电学家安培，也在思考这个问题。

安培为了这个伟大的理想不断地工作着，开始他用一根不通电的导线去靠近一跟通电的导线，希望在那根电线里感应出电流来，但是没有成功，认为自己使用的磁铁太小，就到瑞士去订购了一个大的，因为法国还不会造那么大的磁铁。在归来的途中马车翻了，安培被摔伤了，更重要的是磁铁也摔坏了。

这个不大的打击，对于安培来说却有些承受不了。回到法国，伤好之后，安培便终止了自己这项实验而转向电的理论研究。戴维从朋友的来信中知道了安培的遭遇，并把信交给法拉第。安培的失败没有使法拉第动摇，反而觉得自己的责任更加重大。于是写信向安培请教。他对安培的智慧一直怀有敬意，也相信安培的思想中蕴藏着有价值的东西，还没有完全挖掘出来。

安培毫无保留地把自己的研究成果转告给法拉第，并鼓励他继续干下去。这使法拉第深受感动。

1823年，32岁的法拉第，由于他在化学方面的成就，已经由一名助理实验员成为皇家学会的会见了，这几乎是最高的荣誉和学术地位。不少公司和厂家用重金聘请法拉第，他可以得到上千磅的酬金。这时皇家学院正处于经济拮据的窘境，法拉第的妻子经常为衣食发愁。但是，法拉第毅然放弃发财的路而选择了在荆棘之路上的探索，他为了集中精力进行电磁研究，还辞去了学院的大部分职务，妻子理解他，宁愿过清贫的生活。

起初，法拉第的实验只是仿照安培的做法，安培的磁生电的实验完全是对静电感应的模仿，因为静电感应时，只要把带电体靠近绝缘导体。在导体的另一端，就能感应出电荷。法拉第把两根导线靠在一起，在一根导线里通上电流，希望在另一根导线上感应出电流来，但是，实验结果是失败。后来，他又用一个强大的磁铁靠近接有电流计的导线，但是，导线里也没有像法拉第想象那样出现电流。这样的实验许多人都做过，结果都是失败，唯有法拉第没有被失败吓倒。

法拉第认为，失败的主要原因是自己对电和磁的本质知道得太少，他听说阿拉果把铁屑撒在通电导线周围，能形成环形图案。这些图案必定包含着什么秘密。法拉第决定从这神秘的磁力图案开始研究。

法拉第拿来一张白纸，纸下面放一块条形磁铁，把细铁屑撒在白纸上，轻轻地弹动这张纸，铁屑立即排列成从磁极出发的许多条美丽的曲线，这件事600多年前佩雷格里努斯就做过，但是理解它的只有法拉第。

法拉第给这些曲线起了一个名字叫磁力线，法拉第是一个使科学概念精确化的大师。法拉第每天都摆弄这些磁铁和铁屑，研究磁力线的性质，他画出了条形磁铁，马蹄形磁铁。甚至形状像地球的球形磁铁的磁力线。他发现了磁力线的许多性质。

法拉第发现，磁力线像一些链条一样把电流和电流，磁铁和电流之间联系在一起。如果能从这些拉拉扯扯的线团里理出一些头绪来，磁生电的愿望就会实现了。

法拉第发现，磁力线在通过通电螺旋管时，非常顺从，就像梳理好的一束秀发。于是法拉第把两个螺旋管绕在一个铁环上，像图中那样，一个是右侧的A线圈，另一个是左侧的B线圈，此时他想，如果给其中的一个线圈通电，磁力线一定会穿过一个螺旋管后，再穿过另一个螺旋管，从而把两个线圈联系在一起。

法拉第把线圈A和有10个电池的电池组相接，B线圈和电流计连接，当他合上电键时，他看到电流计的指针振动了一下，又回到零的位置，当切断电源时，电流指针又受到扰动。

在一次演讲中，法拉第向人们讲述什么是磁力线，他把一个条形磁铁插入与电流计相连的线圈之中，就在这个时候，法拉第看到电流计指针的摆动，当把磁铁从线圈里抽出来的时候，指针向相反方向摆动。法拉第让磁铁不动，把线圈突然套在磁铁上，电流计的指针也在摆动，把线圈从磁铁上抽出来，指针又向相反方向摆动。如果磁铁和线圈全不动，则不管磁铁是不是在线圈里，均不产生电流。

法拉第在演示磁力线的瞬间，自己切实地看到了，只有当线圈切割磁铁周围的磁力线时，才能有感应电流产生。这正是他十年所追求的结果，只要

线圈不断地切割磁力线，感应电流就会不断的产生出来。

这是他经过十年奋斗得到的结果！磁生电的理想终于实现了！这不仅对法拉第，对整个人类来说也是一个莫大的喜讯！

讲座结束以后，法拉第回到家里，立即做了一个更精确的实验，实验过程都记录在 1831 年 10 月 17 日的日记上。

第四章 发明到应用的艰苦历程

走出摇篮的电与磁

在历史上，电磁的应用首先是由电磁铁开始的。我们上下课听到的铃声，就是由一个铃，一个锤和一个电磁铁组成的。当负责打铃的校工闭合电铃的开关的时候，一股大小和方向都在不断变化的交流电，进入到电磁铁中，造成了电磁铁一会儿吸住铃锤，一会放开，这样，铃锤就不断地敲击电铃，发出一连串清脆的铃声，电话机里的铃声也是用类似方法产生的。

电磁铁和天然磁石的最大区别是，电磁铁的吸合可以受到人的控制。现在有一种专门搬运废铁块的起重机，吊臂下面装有一个大的电磁铁，当电磁铁靠近废铁块时，起重机司机按动电钮，接通电源，电磁铁立即产生强大的磁力把碎铁块吸引起来，待搬运到目的地的时候，断开电磁铁的电源，就可以让铁块掉落到指定的地方。但是，制造这么大的电磁铁，经过了漫长的过程。

19 世纪的电学科学家，在奥斯特发现了电流的磁效应以后，就像进行一场比赛一样，拼命地把电磁铁的磁力做得大一点。安培首先做成一个小型的电磁铁，法国的物理学家阿拉哥听到奥斯特的实验消息以后，也立即动手开始实验，用铜线绕成一个线圈，做成一个较大的电磁铁。

在阿拉哥以后，一位鞋匠的儿子斯特金制成一个名符其实的电磁铁。他把一块熟铁（纯铁不会变成永久磁体）弯成马蹄形，在铁上涂上清漆，以防止裸铜线和铁芯之间连通。用一条铜导线在上面并排绕了 18 圈，当他给导线通电时，这个电磁铁居然提起了 9 磅的重物，约为本身重量的 20 倍，电流一断立即失去了它的吸引力。

对电磁铁着迷而且贡献很大的还有一位美国科学家亨利。亨利为了做出比斯特金更强大的电磁铁，他撕碎了妻子的一条绸裙子，当妻子发现的时候，亨利正一心一意地把绸布缠裹在裸铜线上。现在，我们可以买到漆包线来做这种事情，但是在 18 世纪要使铜线与铜线之间绝缘是一件十分麻烦的事，需要耐心地一点一点的在铜线外面裹上绝缘的东西。亨利的妻子当然对把她漂亮的裙子派这种用场很不乐意，但是，看着亨利笨拙的大手不禁怜惜起来，并开始帮助他干这件自己并不明了的“蠢事”。亨利实际上首次使用了绝缘导线。这样他能把裹好的铜线在铁芯上绕满 500 圈，而斯特金由于用的是裸铜线，只能绕 18 圈，再多电线便会碰在一起互相短路了。

1831 年耶鲁大学的大厅里聚集了许多学者和教授，他们都是来观看电磁铁表演的。当他们看到，亨利手里拿着的一个小小的装置时，都不相信它会有什么力量。

亨利不慌不忙地在电磁铁上系好一根绳子，绕过大厅房梁上事先挂好的滑轮，地面上放着许多大型铁砝码，还有电池组。当宣布实验开始后，亨利合上了电闸，啪的一声，电磁铁把一块大铁板牢牢地吸住，亨利拉动绳索把吸着铁板的电磁铁拉离地面拴牢，然后便不断地把一个个砝码加在铁板上或吸在下面。在场的人们屏住呼吸观看这场重力和电磁力的较量，其兴趣不亚于观看一场精彩的拳击比赛。

重量一直加到了 1 吨重，场上响起了欢呼声。议论声。实验成功了。提起的重量是电磁铁重量的 50 倍。真是奇迹！

由于亨利对于电学的贡献，1893 年在芝加哥召开的国际电学会议上，一致同意将衡量线圈自感大小的物理量——电感的单位定名为亨利。

亨利不仅是一位科学家，还是出色的科学管理人才，他是美国科学院的创始人之一，也是该院的早期院长之一。在美国南北战争期间，亨利领导了全国科学动员工作，他建议制造装甲舰，这个建议被政府采纳。

亨利对气象学也有兴趣，他曾建立了一个能及时向全国各地报告天气的通讯网，说到通讯，每一个享受现代通信恩惠的人都应该记住亨利，因为无论是电报还是电话的发明，都应该给亨利记上一功。

电和磁开始旅行

亨利发明了用电磁铁传递消息的办法，这就是原始的电报，但是，只能用它传递一些简单的消息，不能传递大量的文字信息。许多科学家也在研究这个问题。例如：英国的科学家惠斯顿曾经设计过，用5枚磁针的不同指向来表示字母；另一位名叫斯泰因的科学家则想用一串音调不同的铜铃来表示字母。可以看出，这些方案都不太实用。

电报变成方便、快捷为大家所接受的通信工具，美国科学家莫尔斯的贡献很大。莫尔斯原来是一位画家，一位画家是如何想到搞电报机的发明呢？

莫尔斯1810年毕业于耶鲁大学的时候，对父亲表示要当一名画家，他父亲是位公理教会的牧师，对此感到十分失望。贫穷的家庭本来想靠莫尔斯支撑，如今又要花一大笔钱送他去伦敦学习。

不管怎么样，全家人还是凑足了足够的钱让莫尔斯飘洋过海。莫尔斯在伦敦渡过了好几年，最使莫尔斯烦恼的不是贫困，而是与家里通信不便。

据说，莫尔斯研究电报是在学成回国的漫长旅途中开始的。莫尔斯在国外的学习颇有成就，回国的时候已经是一个很有地位的画家了，他作画的收入已达3000美元，这在当时是一个不小的数字。1832年10月1日，他乘“莎莉”号起程回国，这次旅程不仅改变了莫尔斯的生活也改变了人类历史的进程。

在船上进餐的时候，大家的话题转向电，特别是电报的话题引起大家的兴趣，因为这些海外游子都巴不得立即与亲人通信。莫尔斯并不懂什么是电报，但是从大家的议论中逐渐知道了电报的原理和构造。离开七嘴八舌的餐厅以后，莫尔斯在甲板上散步，他认为问题的关键是要提出一个传送字母的最佳方案。莫尔斯是一名画家，他具有很强的形象思维能力，忽然他想到一个方案，就立即跑回自己的房间，反锁上门，坐在桌前，抽出一支铅笔和几张纸，写下了自己的想法。不到几个小时，他便发明了用点和线来代表26个英文字母的方案，比起当时一些著名的科学家的思路要简捷得多。也许这得益于他对电学几乎一无所知，没有任何条条框框，因而思路开阔，所以才想到这种简单明了的办法，使电报机可能实用化。

当然发明的道路并不是那样平坦，莫尔斯首先要学习电学知识，他向科学家请教，在自己的实验室里进行实验，他放弃收入优厚的作画订单，日日夜夜地设计图样，研究改进，终于做出了第一台能收发信息的电报机。

电报机的原理十分简单，机器的主体是一个电磁铁，电磁铁上有一个像跷跷板的细棒，细棒的一端装有一个笔，笔下面有一卷在发条带动下慢慢运动的纸，笔端碰到纸的时候，就能在这上面画出点或线。操纵笔运动的是一块电磁铁，从远方传来的电流时有时无，就可以在纸上画出点或线了。

可是，更困难的事情等在莫尔斯的后面，他找不到一笔经费来表演他发明的电报。因为必须架设几英里的电线，让电报传过去。电线和其它设备很昂贵，从欧洲带回来的一点钱已经花完了。莫尔斯既穷又伤心，生活悲惨的很。幸亏，后来国会的一些参议员认识到电报对国家的重要性，才通过一个议案拨出一笔款子，使电报能够表演。

1844年5月24日，莫尔斯在华盛顿进行表演，一条40英里长的电线伸向巴地摩尔城。莫尔斯坐在电报机前面，发出有史以来的第一封用点和线组成的电报，内容是：“上帝创造了什么？”莫尔斯站起来，众人一声不响，

大家都在焦急的等待着电报的回音。忽然，电报机响了，纸带上出现了点点划划，把它们所代表的一个个字母拼合起来，正是原来发出去的那句话，电报由计划变成了现实，莫尔斯在这项发明中付出了巨大的代价。

电报的发明固然了不起，但是人类无限的探索精神并没有得到满足，他们要求更好的通信方法，非常有趣的是发明电话的贝尔也是一个对电学知识所知无几的人。贝尔是波士顿大学声音心理学教授，他所从事的事业是研究如何让聋子学会说话。他不仅热爱这项工作，也爱上了一个聋子女学生，这促使他愈发致力于他的研究工作。

他日夜思考一种不用声带说话的方法，当莫尔斯的电报风靡美洲时，贝尔也对电报着了迷。他在自己住的房子的顶层设立了一个试验室，同他忠实的朋友华生一起摆弄电报机。有一天，华生正在一个房间里摆弄电报机，电报机似乎出了什么毛病。他用手拨动一个金属片，金属片像音叉一样发出了“嗡”的一声响。在隔壁负责接收电报的贝尔，忽然听到从电报机里发出了“嗡”的一声响。他立即放下手中的一切，跑过来问华生是怎么回事，华生向他解释，刚才只不过是拨动了一片金属，贝尔要他再拨一下，自己又回到隔壁，果然又听到嗡的一声。于是两个人把这项试验做了又做。这嗡嗡的声音使贝尔激动极了，因为他看到了电流传递语言的曙光。贝尔是一位语言学家，他知道所有的声音都是物体振动造成的。声音到达人耳时，耳膜发生振动，神经将振动传到大脑中，再翻译为声音信息。

为了把声音的振动变成电流的振动，贝尔和他的朋友华生做过千万次实验。1876年3月10日这一天，贝尔正集中精力研究他面前的机器，不小心碰翻了蓄电池，过去的蓄电电池非常简陋，电池中的酸液洒到他的裤子上，贝尔大声喊到“华生，请到这里来，我需要你！”其实，此时华生不在这个房间里，而在另一层楼的房间里，本来是听不到贝尔呼喊的，但是房间里装着与贝尔相连的一部实验电话机。从电话机的接收器中华生听到了呼救声。

这是有史以来，第一次由电话线传递的呼救的声音。满心激动的华生冲进贝尔的房间来帮忙。同时带来了他们日夜盼望的消息，电话成功了。

贝尔忘记了裤子上的酸液，两个人开始用电话互相通讯，足足忙了半个钟点。最后他们一点也不怀疑，人的声音确实可以通过电流传递了。

驱散黑暗的爱迪生

如果外星人乘飞船飞临地球的时候，他们只要看到地球上的夜景就会立即判断，这是一个有智慧生物的星球。无数的电灯像撒在大地上的珍珠把地球的夜晚装扮得美丽异常，尤其是沿海繁华的大都市，灯光连成一片，彻夜通明。

但是，在 19 世纪 80 年代以前，地球的夜晚还是漆黑一团。少数的煤气街灯发出黄晕的光，人们匆匆地赶路，似乎在尽快地逃离这黑暗的世界。

电，可以用来照明，这件事任何人都不怀疑，但是，许多发明家却没有能实现它，大家还记得戴维吧！他在十九世纪初（1800 年）就研究过电弧，戴维把一个由 2000 个电池组成的电池组和两根碳棒连接起来，两根碳棒先相互靠近接通电流，然后慢慢地把两根碳棒分开，这样就会在它们之间便拉出一个很亮的电弧。利用电弧做成的灯称为弧光灯，弧光灯耗电量极大，而且碳棒又在渐渐地烧短，需要不断调正，在没有发电机以前，弧光灯是没有实用价值的。电弧非常亮，对家庭不适用，如果你在近处对着电焊的弧光看上那么一眼，就能体会弧光灯的危害，不过我劝你还是不要这样做，那会足足叫你的眼睛流泪发红很长时间的。当时在英国，弧光灯也只是用在钟楼的顶上，或灯塔上，尽管是这样，人们已经看到了电的曙光，但人们需要一种不太刺眼的电灯。

因此，许多科学家在寻找一种更好的办法。1878 年，31 岁的爱迪生向全世界宣布，他要解决电照明的问题。他对自己选择了一个极困难的课题，因为当时已有许多发明家对这件工作研究了一年多了。竞争肯定很艰难而又激烈的。

当时的爱迪生已经是一位著名的发明家了，他已经获得了 1000 多项发明专利，在新泽西州的门罗公园附近建立了自己的实验室——世界上第一个工业研究实验室。有 8 位有才华的科学家为他工作。他曾改进了电话的受话器，发明了他最心爱的项目留声机等。

爱迪生所爱好的工作方法是，先收集资料了解一切，然后竭尽全力进行风驰电掣般的突击，他常常由于这种全力以赴而获得胜利。

自学使爱迪生养成了一个说干就干的作风，要使电成为商业化，就必须使灯泡持久耐用，而为达到这个要求，他必须找到一种能被电流热到炽热而不会烧断的金属。进行这种实验很麻烦，他先要把金属拉成丝，然后装在一个玻璃泡内，抽去里面的空气，再封好。这样，每做一次实验就要花去好多钱和时间。爱迪生用去了 5 万美元和整整一年的时间，才发现一向被认为熔点很高的，铂丝和铱丝并不能做成灯泡里的灯丝，因为实际上用不到 8 分钟，它们就熔断了。

当时英国的业余科学家斯旺也在研究电灯。斯旺早年在一位药剂师手下当学徒，空闲时学习科学。他大概没有钱购买贵重的铂和铱来作为灯丝，就转向研究碳丝白炽灯。因为炭弧灯使用的就是炭棒，炭是一种很耐高温的物质，只是非常容易燃烧。他在 1860 年制成了碳丝灯泡，但是由于灯泡里的真空度不够，碳丝在高温下与空气中的氧化合，烧毁了。后来他请求斯特恩帮助。

斯特恩是利物浦银行的一名职员，和斯旺一样也是一位业余科学家。他们认为，如果能制出高真空的灯泡，隔绝了灯泡中的碳丝与空气的氧化合，

就可延长灯泡的寿命。而斯特恩对高真空的研究有很深的造诣。所以，每当斯旺来请求他帮助时，他都给予很友善的解答。他们又请吹制玻璃的专家托普哈姆吹制玻璃泡。三个人合作，终于在 1879 年 2 月，公开展出了在真空玻璃泡里装有碳丝的灯泡。斯旺的碳丝是把棉线捻起来放在硫酸里碳化而成的。

斯旺的成功使爱迪生彻底放弃了对铂和铀的试验，转向寻找制做碳线的纤维。

谁能找到最好的碳丝，谁就握住了通往光明之路的入门卷。于是，在几个发明家之间，展开了一场你追我赶、激动人心的竞赛，还有关于专利权的争夺。

爱迪生的上千项专利给他带来了一定的财富，他把自己的全部财产都投入到这项实验中去。开始使用棉线，他将棉线装入镍板上刻出的 U 形槽中，在炉子里小心地烘烤几个小时，进行碳化，挥发掉其它物质以后，就变成一根脆弱的碳丝，但是这种碳丝很难装到灯泡里，有的刚放到实验台上就变成了粉末。

炎热的夏季里，爱迪生和他的助手们也没有中断他们的研究工作。他们甚至用人的胡子进行碳化试验，有一天爱迪生看到有人用一把竹扇扇风，便把扇子要过来，扯下一根纤维，碳化后放在灯泡里一试，效果竟出乎意料的好，这使爱迪生大喜过望。

折扇来源于中国，后来传到日本。于是爱迪生立即派人到中国、日本、巴西，总之，凡是有竹子的地方都去，他试过 6000 多种竹子样品，花去了他 10 万美元的资金。最后，发现一种日本产竹子最好。用这种竹纤维做成的碳丝，生产的灯泡寿命最长。

此时英国的斯旺用人造丝的方法开始生产碳丝，他先把棉花做特殊处理，变成粘稠的液体，再让这种液体从一个喷嘴里喷出来，形成细丝，然后进行碳化。有趣的是，本来这种发明是为了生产碳丝，但是后来却成为制造人造丝的先驱。

爱迪生也在实验室里造出比竹纤维更好的碳丝，人类走到了大自然的前面，做出比它赐予的还好的东西。

但是当爱迪生正准备生产灯泡的时候，斯旺给《自然》杂志去信，申明他的关于碳化的发明权。1880 年斯旺成立了斯旺联合电灯公司，公开与爱迪生展开了竞争。

但是他们很快就认识到应该联合，1883 年成立了爱迪生——斯旺联合电灯公司，电灯于是正式走向市场。

不是发明使他成为富翁

电灯的发明引起了轰动，但是轰动效应很快地消失了，因为，真要把电灯安在一家一户还有许多困难。首先要建立发电站，原来的发电机只供给电话、电报或少数的工厂用电，如果让家家都使用电灯，则需要好多电力。这些事做起来，比夜以继日在实验室里的工作更加艰难。许多发明家由于战胜不了从发明到实际应用遇到的重重困难，只好把发明报请一个专利了结。

而爱迪生却不是这样的人。通过多年的奋斗，爱迪生积累了一些财富，但是他的财富不是依靠出售专利得到的，而是通过自己把发明的专利变为产品，通过制造和销售获得的。

当爱迪生的电灯大放光明的时候，许多公司立刻敏锐地觉察到它的意义，于是专利权的斗争变得十分激烈，爱迪生为了维护自己的利益不得不向美国电灯公司、联合电灯公司以及其它的一些公司提出诉讼。

从 1880 年到 1900 年，诉讼事务共花费了 200 万美元，这些钱都是靠个人掏腰包，这对于爱迪生来说是一笔极其昂贵的开销，还耽误了许多宝贵的时间，他要接受律师的询问，还要准备诉讼的材料，又要出庭作证，这些也给他带来了沉重的负担。爱迪生的经历说明了，发明、研制和生产的区别。一个好的发明若没有进一步转化为产品，那么这项发明不是束之高阁就是被别人掠夺而占有，因而，不善经营的发明家，虽然辛辛苦苦搞出了发明，却常常是贫困潦倒。爱迪生深知这些道理，因此他在一个重大发明成功以后，就努力地去推广它。

爱迪生计划首先在纽约建立一个发电厂。这需要许多钱，爱迪生请求一批银行家贷款，但是他们不肯，认为这种投资风险太大，爱迪生花费了很长的时间劝说他们，但是没有得到一个铜板。煤气公司担心电灯会抢去煤气灯的生意，就拼命地宣传电灯的缺点。人们看到明亮的电灯害怕会引起火灾，也怕触电身亡。街上要拉电线，街道下面要铺电线，连纽约市长也出来反对。

爱迪生首先要解决大众对于电灯的惧怕，他设计了一个轰动全国的游行。在纽约最繁华的街道第五街上，用军乐队、马队和五彩旗帜组成了一个大方阵。方阵的中间是一辆载着发电机的马车，发电机是由蒸气机带动的。从发电机上引出许多细电线，连接着方阵中百人头盔上的电灯，方阵浩浩荡荡地在第五街上行进，盔顶的电灯一会儿明，一会儿灭，看热闹的人惊奇得倒抽一口冷气，这电灯怎么能顶在头上呢？

这次游行消除了公众对于电灯的恐惧感，精彩的表演使观众看得眉开眼笑。

经过不断的努力，纽约市长终于同意在地下铺设电缆线，还同意拨款 100 万美元成立一个纽约爱迪生电力照明公司。该公司共有 3000 个股，每股 100 元，其中 2500 股和 3000 元现金归爱迪生持有，这个公司向纽约供应灯光、动力和热力。

为此，爱迪生必须开设许多工厂、一个工厂造发电机，另一个工厂造电线，还有的工厂造各种架设电线的器具、开关等等。爱迪生竭尽全力地掌握住他的各个工厂的活动，当时，有人形容他像一个把十几个彩球不断抛向空中的杂技演员一样，忙的不可开交。幸亏他有许多专家作为助手。每需要一种新的器具，爱迪生就要发明一种，申请一种专利。专利局一次批准了爱迪生的 31 项专利，专利局长说，这是在同一时期发给同一个人专利的最大数

目，也就是创历史最高纪录。

爱迪生还发明了保险丝，保险丝本来是为防止用户过多的用电装置，现在已经成为用电安全中不可缺少的一部分。

直到 1882 年的夏季过后，才定下来供电的日子，那天是 9 月 4 日星期一。爱迪生和爱迪生电灯公司的董事们在华尔街 23 号摩根办公楼集合，摩根是爱迪生电力工程的主要支持人，单是他的办公楼里，就将有 400 只电灯照明。

在这种场合下，爱迪生换下了平时皱皱巴巴的工作服，穿了一身崭新的衣服，白衬衫、白领带、白色的高顶圆边帽，在试车即将开始时，他掏出了刚刚对准的表，等待这有意义的时刻。这时一位董事打趣地说：“如果能按时发电，我出 100 块。”

“这 100 元，我是赢定了！”爱迪生笑着回答。

因为他已经亲自检查了发电机、电缆线和每一家中的电灯，当时的电灯是一盏接一盏串联在一起的，只要有一户发生故障，全部电灯都会熄灭。这就要求线路的任何一个地方都不能出毛病，一旦出了毛病，爱迪生就会身败名裂，遭人耻笑，何况，煤气公司的董事们正在等着看笑话呢！

功夫不误苦心人，在这天下午 3 点，总开关一合，1 万多盏电灯一齐亮了起来。光华耀眼。

交流和直流的冲突

爱迪生的电灯只点亮了纽约城中一个不大的实验区域，当全城的人都要求安上电灯时，却使爱迪生有些为难了。因为，当时输电距离不能超过3公里，电流沿着电线走得太远以后，电压下降，就不能把电灯点得雪亮，只能发出黄晕的光，甚至不如煤气灯亮。

如果提高输电电压，靠近发电机的电灯就会被烧毁，为了解决这个难题，发电站必需建在附近，纽约的第一个电站设在珍珠街，那里原来是一个贫民窟，出价便宜，而且离华乐街等繁华的地方很近，但是这样的地方不是很多，居民常常抱怨发电机发出的噪音、震动和烟尘，但是，为了解决越来越多的需要，爱迪生还是决定在纽约建立许多发电厂，大约方圆三公里就会有一个冒着浓烟、隆隆作响的发电机在工作。

正当爱迪生计划大量建立发电站的时候，爱迪生研究所里的一位叫特斯拉的专家想出了一个新的办法。特斯拉1856年出生于克罗地亚，在匈牙利格拉茨大学学习工程学，后来移居美国。

爱迪生虽然建立了一个研究所，但是，这个实验室仅仅是爱迪生个人头脑的延伸，一切工作都是在他的直接领导下，爱迪生的研究成员不多，都是经过认真挑选的出类拔萃的人物，大家都十分钦佩爱迪生的干劲，仿效他，在门罗公园实验室里形成了一种带有部族土人色彩的崇尚英雄的风气，人们也习惯于他那友好善意的粗鲁，他们习惯于一切服从这位30岁“老头子”的指挥，这无疑也在一定的程度上限制了他们独立的创造性。

爱迪生手下的人员虽然分成许多工作队，但能向爱迪生提出新鲜设想的却寥寥无几。

特斯拉是科学家式的人物，他重视理论思考，他发现了一种能任意提高和降低电压的办法，这就是变压器。不过这得使用交流电，而爱迪生使用的是直流电。

特斯拉对自己的新发现十分满意，因为这样，发电厂就可以建在离城市很远的郊区，用高电压送电，因为送电电压较高，在输电电路上的损失就很少。等送到城市里以后，再用变压器变成电灯所需的低电压。这可以省去分散建设许多发电站的麻烦和污染。

为了使用变压器，特斯拉还发明了交流发电机和交流电动机。但是，当特斯拉向爱迪生提出这些建议时，遭到爱迪生的拒绝，因为爱迪生的工作作风是风驰电掣般的突击，他已经在纽约城市建设了许多直流发电站，供电工作已经开始了，怎么拆除它们再建一个交流发电站呢？那会浪费好多钱啊！

爱迪生有些专横粗鲁地否定了特斯拉的建议，这使特斯拉心中非常不快。

从欧洲来的特斯拉还不适应门罗公园的环境，这导致他最后与爱迪生决裂。

有一次爱迪生和特斯拉谈论发电机的几种潜在的改革的可能，爱迪生无意中说出：“如果你能搞出来，付你5万美元。”

不出几个月，特斯拉把新设计的部件装入电机，试车成功，他向爱迪生索取5万元资金，但爱迪生回答的却是：

“特斯拉，你不知道我们美国人爱开玩笑吗！”

特斯拉是一个脾气有些古怪的人，他认为爱迪生戏弄了他，当场提出辞

职，爱迪生从此失去了一个天才。

特斯拉终止了与爱迪生的合作，决定自己进行研究。他争取到商人威斯汀豪斯的帮助。当时许多公司看到爱迪生的成功，正想插足于经营电灯事业，这正是一个好机会。

威斯汀豪斯也是一个出名的发明家，他在 1869 年发明了气动制动器，就是汽车和火车上普遍使用的气闸。威斯汀豪斯因为气闸的发明名扬四海，并开设工厂发了大财，成为第一流的富商，因此他有足够的财力来制造新的产品。只用短短的三个星期，特斯拉就研制出了变压器。威斯汀豪斯是一个很有眼光的发明家，也有丰富的电学知识，他立即看出来变压器的应用前景。

为了对付电在输送过程中的消耗，可以先用变压器把发电机发出的交流电的电压升高，现在我们输送的电压，有的高达 50 万伏，电压越高，输送的电能越多而损失就越少。等到了需要低压电的地方，例如点灯只需要 220 伏电压，那就再用变压器把电压变低。而在没有变压器的时候，爱迪生为了解决不同用户的电压需求，使用不同的发电机来供电，发动机的转速越快，发出的电压越高。例如，电灯用电不需要高电压，而电车之类作为动力用的电，就需要高电压，这就需要配备电压不同的发电机。更麻烦的是，高电压和低电压又不能用同一条电线输送，这样又要铺设数条线路，现在看来，这种做法笨得近乎可笑。但是，科学技术的发展正如婴儿学习走路一样，开始学步时，是蹒跚的行走，然后才能自在地走，以至行走如飞。

使人感到遗憾的是，大发明家爱迪生没有立即看出交流电和变压器的无比优越性，从而一意孤行坚持自己的直流供电方案。忽视理论的研究，使爱迪生吃了亏，甚至丢了人。这就是下面要说的直流电和交流电的冲突。

本来爱迪生是一个善于多路思考的发明家，但是，这一次恰好相反。其原因是多方面的。爱迪生习惯于“系统研究法”，他为了推广电灯的应用，发明了一系列的东西：发电机、稳压器、仪表、开关、熔断器、地下导线、接线盒直到绝缘带。这种发明方法使爱迪生举世闻名，也获得了财富。但系统研究法并不是唯一的思考方法。它不利于思路的转换。在解决不同问题时，又会显得凝固僵化，甚至用不合“常规”来扼杀新生事物。

另一个原因是爱迪生不仅是一个发明家而且是个商人，已经投入的大量资金使他不能后退，他无论如何也不肯承认自己的错误，而且不择手段地反对使用交流电。当时有一种新发明的刑具电椅，用来处死犯人，电椅应该是一个不光彩的发明，发明家也许不愿意留下自己的名字。爱迪生派人购下了一台交流电机，又买通纽约州政府，让他们在行刑时，使用交流电，然后惊恐地宣称，交流电更容易使人死亡，电椅就是一个明证。他们还利用人们对于电的无知，在大街上不惜用 1000 伏高压交流电去电死一条狗，以增加人们对于交流电的恐惧。

随着科学技术的发展，交流供电系统不断地改善，1891 年在德国法兰克福国际电气展览会上，展示出能把电力输送 110 公里，效率 77% 的设备，令人对交流供电刮目相看。1893 年，卡塔拉克建筑公司在尼亚加拉瀑布建了一个水电站，采用交流供电，充分说明交流供电的优越性。

在交流和直流的竞赛中，爱迪生遭到惨败。在国际电气会议上，与会者一致通过在世界范围内采用交流供电。

但是有些机器、设备，只能用直流不能使用交流电：像电报机、电话机、电车以及现在的电视机，收音机等，这是交流电的缺点。在当时，对待需要

直流的地方，是采用单独供电的方法，但是不久，人们就发现了把交流电变成直流电的方法，说来也巧，这种方法的原理是由反对使用交流电的爱迪生发现的，然而爱迪生并不了解这个现象的本质。只是记载了下来，后人称为“爱迪生效应”。

那是 1883 年的事，爱迪生在研究电灯的时候、常常为灯泡对着灯丝的地方容易发黑而苦恼，因此在灯丝附近封装了一小块金属片，试图阻挡这种使玻璃泡发黑的物质，没想到点亮电灯时，这块金属片竟带上了电，这说明，灯丝上的电流越过空间跑到附近的金属片上来了。当时，人们只知道电流可以沿着电线流动，而电流可以越过真空却是不可想象的。因为那时人们根本不知道电流的本质，这要等到后面我们讲到汤姆逊发现电子以后，人们才知道，这种被称为“爱迪生效应”的现象，是从炽热的灯丝上发射出的电子流，电子流射在金属片上，使它带电。弗莱明利用了爱迪生效应做成了可以把交流变成直流的整流电子管。当我们需要直流时，可以用这种整流管把交流变成直流。爱迪生反对交流，而又无意中为交流电的使用开辟了道路。

直流输电最明显的优点是可以省下一根输电线。交流电输电一般需要 3 根线，而直流则只要两根输电线。这对于全国、全世界来说可不是一个小数字。另外，由于交流电是大小和方向不断变化的电流。输送这种电流比稳定的直流要产生许多额外的损失。有人估计对于一条 200 千伏的输电线，每公里每年要多消耗 280 万度电，这够 25000 多台家用电冰箱一年的用电。

直流输电的优点还有许多。从 1954 年瑞典首次实现直流高压输电以来，全世界已经有 40 多个大型直流高压输电工程投入运行。我国由葛洲坝至上海就有一条 500 千伏的直流输电电路。

因此，交流直流的“冲突”，正是人类头脑中习惯性思维方式的冲突，当我们摆脱了这种习惯思维后，这种冲突也就解决了。

爱迪生和特斯拉都得到了人们的尊重。但是他们之间的矛盾越来越深。1912 年的诺贝尔物理学奖，本打算授给特斯拉和爱迪生两个人。但是脾气古怪的特斯拉拒绝把自己的名字和爱迪生联系在一起，结果资金授予了另一位贡献稍差的瑞典发明家。

特斯拉在开发新产品上不如爱迪生，但是他在科学的贡献上却是十分出色的。他创立了旋转磁场的观念，把它用于交流发电机和交流电动机。他一生有 122 项发明，发明了感应电动机、同步电动机、变压器等，实际上构成了一个完整的交流供电系统。

1890 年他致力于高频电的研究，创制了著名的特斯拉线圈，能把振动频率较小的电流变成迅速振动的高频电流，为无线电的研究做了准备。1893 年他设计了运用无线电报传送信息的方案。1898 年发展了船舶的无线电导航系统。他不仅是一个富有成果的发明家，又是一个幻想家，他打算利用无线电和外星人通讯，还提出了对太阳能的利用方案。

和爱迪生比，他是一位贫困的发明家，他生命的最后 20 年精神陷入极端的反常，最后穷困潦倒地死在一个小旅店中。

特斯拉的成就是巨大的。为了纪念他，国际单位制中的磁感应强度单位以特斯拉的名字命名。

爱迪生虽然在交流直流的斗争中受挫，但是瑕不掩瑜，爱迪生一生获得了近 1300 项发明专利。如果从他 16 岁的第一项发明——自动定时发报机算起，平均每 12 天半就有一项新发明。尤其是在 1882 年，爱迪生为纽约居民

装电灯的日子里，平均不到 3 天就有一项发明。从文具盒到打字机，从裙子上的别针到战舰的稳定器，真是无所不包，无所不有。据估计，爱迪生一生中的发明为人类创造的财富在 25 亿美元以上。但是他本人从中得到的好处，远远比不上人类普遍从他那得到的好处。

一个故障引起的发明

电力大规模的应用，离不开发电机、电动机的不断改进。法拉第第一台电动机的巧妙设计，在当时立即引起人们的重视。许多科学杂志马上转载法拉第的文章。人们纷纷效法法拉第，开始研究电动机。

对于发电机和电动机的改进，贡献最大的是德国科学家西门子。在物理学中，电阻的倒数叫电导率，它的就用西门子的名字命名的。如果一个导体的电阻为2欧姆时，它的电导率就是1/2西门子。

德国的西门子电气公司也是称雄世界的电气公司之一。它是由西门子创立的。

但是，幼年时的西门子只是一个小佃农的儿子。他的父亲靠租种地主的土地来养活9个孩子。所以西门子为了抚养贫困的双亲和众多的兄弟姐妹，有一股特顽强的奋斗精神。

西门子上小学和中学的时候，就特别喜欢自然科学。但是中学毕业后，双亲已无力帮助他实现上大学的愿望。

西门子不愿意就此终止自己的学业，他的衣袋里虽分文全无，但是为寻找到深造的机会他还是来到了柏林。一路上历尽艰辛，饱受磨难。正当他走投无路的时候，他看到了柏林军事炮兵学校的招生布告。这张已经有些破损的布告是西门子生活的转折点。

在炮兵学校里。他学习到工程技术的必要知识，毕业时已经是一名英俊的年轻炮兵军官了。

单调的军事生活使许多军官感到无聊，但是西门子把自己全部的业余时间都用来探索自然科学的奥秘和进行各种技术方面的实验。

西门子的兴趣十分广泛。开始他研究镀金技术，利用电流给一些家用的小金属器皿镀金，赚来的钱可以帮助父母和兄弟。

当然，西门子的兴趣也不仅是赚钱养家。他还为提高蒸汽机的效率绞尽脑汗。1846年，西门子开始研究电报。他成功地设计了可控断续手动发报机。由于这种发报机特别适用于普鲁士国家电报网，所以使西门子也赚到一些钱。

西门子在从事发明研究的过程中，曾长期得到一位大学机械师卡尔斯克的协助。所以他们共同创立了“西门子——卡尔斯克”公司。

1866年，西门子在发电机的装置上有一项重大改进，就是去掉发电机上那个小的永久磁体发电机。

为什么可以省去这个小发电机呢？如果省去了，那么，电磁铁开始工作时所需要的电流由什么来供给呢？

其实，这个问题的答案十分简单，连现在的小学生也知道，当你把一把刀子在磁铁上蹭几下以后，刀子便会磁化，也变成磁铁了。人们知道钢可以变成永久磁铁，纯净的铁又叫软铁是不能变成永久磁铁的。所以电磁铁的铁芯都是用软铁制造的。但是，软铁也会有微弱的剩磁。

电磁铁上总会有一些剩磁，所以电机开始转动的时候，就会有电流产生，只不过电流比较小，当电流被送到电磁铁的线包里时，线包里的磁性就会增大，反过来又加强了电流的输出，这样用不了多久，发电机就会正常地工作了。这种发电机使用了自激的原理，使发电机的结构大大简化了。这是西门子的一项重大的贡献。

由于西门子对科学技术的贡献，他两次被授予荣誉博士称号，1873年，当选为柏林科学院院士；1888年，得到贵族的封号。他有两个儿子，在他去世后主持西门子的工作。

发电机和电动机的不断改进，使整个工业得到了新的能源和动力。从此在工厂里再也看不见突突着冒黑烟的蒸汽机；在商店大楼里的升降机，也由蒸汽机换成电动机带动，坐在电梯里的人再也不会被冲进来的浓烟呛得难受；发电厂移到很远的郊区，电力由电线送进城各工厂、各家各户，城市不会被煤渣和黑烟弄脏……

曾经带来工业大革命的蒸汽机，已经完成了它辉煌的历史使命，人类的文明技术进入一个电气化时代！

第五章 雄伟的电磁大厦

电磁大厦的基石

研究电荷之间的相互作用是十分重要的，但也是一件十分不容易的事情。正如上面所说，摩擦所能带的电量很小，必需有精密的仪器才能测出准确的结果，而且这些仪器在当时，又要靠自己设计制造。

1785年，电荷之间的相互作用力规律由法国科学家库仑再次发现的，他独立地完成了自己的实验工作。

库仑的成功，在于他不仅有一个科学家的思辨头脑，精通数学，而且他还是一名老练的工程师。库仑1736年出生在法国南昂古莱姆的一门望族，他在巴黎受过良好的教育，起初学习军事，后来又钻研科学和数学。库仑是一个对任何事都十分认真的人。年轻时，作为军事工程师，海军部长派他去勘察在布列塔尼挖掘通航运河的计划。经过仔细地分析，库仑认为那里不适于挖掘运河。这个报告触怒了那些想通过挖运河捞一笔的有权势的人。他们竟借口没有国防部长的命令，库仑私自勘察运河有罪，把他扣押起来。后来，当地政府看出了自己的错误，接受了库仑的建议，并发给库仑一大笔钱作为补偿。库仑仅仅接受了一只秒表，在以后的实验中使用，物理学家托马斯·扬说：“库仑的道德品格像他的数学研究一样端正。”

当时，科学院曾悬赏征求一种用于船上罗盘的最佳设计方案。这种罗盘应该不害怕船在海洋上的颠簸，而且指示准确。正在休养的库仑，立即投身于这项研究之中。1777年库仑撰写了《简单机械的理论》一文，论文引起了人们的重视并获奖。从此，库仑脱颖而出，并成为科学院的成员。

库仑在论文中主要阐述了他发明的一个扭秤。说简单一些，扭秤就是用一根细丝吊住一根很细的杆，利用悬丝的扭转角度来测量作用在细杆上的微小力量。这比天平或弹簧秤要灵敏得多。

正当库仑不断改进他的扭秤天平时，法国发生了1789年震撼全国的大革命在这动荡的环境中，库仑认为还是躲避一下为好，他辞去了官方、科学院和军队中的所有职务。库仑虽是一位贵族，但是十分同情革命。他对国王路易十六的优柔寡断，国王宠臣肆无忌惮的巧取豪夺十分愤慨。他退居到省城布洛瓦附近开始过半隐居的生活，在这种安定的生活中致力于自己的科学实验。

利用精密的扭秤，库仑最后找到电荷引力或斥力的大小与两个小球所带电荷电量的乘积成正比，而与两小球球心之间的距离平方成反比的规律，这就是著名的库仑定律。

库仑定律的实验说起来似乎十分简单，但是为了准确地测定电量、电力和距离，库仑化费了巨大的劳动。在1785—1789年之间发表的论文中，库仑详细地描述了他的实验和实验结论。

库仑定律是电磁学的基石，许多电磁理论都是从这个定律推演出去的。

和真理失之交臂

在近代物理学史上有一位很著名的人物，就是英国的物理学家汤姆生。由于他对于科学的贡献，在 42 岁的时候被封为开尔文勋爵。所以物理学史上他有两个姓氏，一个是汤姆生，另一个是开尔文。24 岁时，他提出一种新温度测量标准，建议把 -273 定为绝对零度，因为他从理论上证明了，在宇宙里不可能有绝对零度（实际上是 -273.18 ）更低的温度存在。这种温标称为绝对温标，后来又称为开氏温标，在温度后面用一个 K 字来表示。

汤姆生不仅在热学上有许多发现，对于电磁学和电信工程也有许多贡献，他领导建立了世界上第一条大西洋海底电缆，为有线通信的发展作出了重大的贡献。可惜的是，汤姆生曾经有两次登上电磁理论顶峰的机会，但是都被他错过了。

这在科学史上是一件很值得说一说的事情。汤姆生生于 1824 年幼年时代的汤姆生是公认的神童。由于母亲早逝，8 岁时就随父亲在格拉斯哥大学听数学课。父亲是一位数学教授，一直担任汤姆生的早期教育工作。12 岁的汤姆生就进入格拉斯哥大学学习，大概是当时世界上年龄最小的大学生。十几岁就写了一篇数学论文，这篇论文由一位德高望重的老教授代为宣读。因为在这样一个庄重的学术会议上，让一个学生来演讲似乎不太严肃。

15 岁那年，汤姆生获得了学校的物理学奖。后来又获得了天文学奖。同时还因为写了一篇出色的论文《地球的圆形》而得到了大学的金质奖章。16 岁那年汤姆生随父亲去德国游览。旅途中他深入地阅读了法国数学家付立叶所著的《热分析理论》一书。同时，他又发现爱丁堡大学教授凯兰对付立叶的这本书的批评不正确。他给凯兰教授写去一封信。

凯兰教授是一位十分尊重科学的人，他对这位年仅 16 岁的大学生的来信进行了深入的研究，终于同意他的观点。并把这封信推荐发表在剑桥大学的数学杂志上。

17 岁的汤姆生从格拉斯哥大学毕业后又到剑桥大学深造。大学生期间又发表了几篇热学论文。20 岁以优异的成绩从剑桥大学毕业。

毕业以后，他首先选择了电磁学为主攻方向。因为在那个年代，电磁学方兴未艾。有大量的理论和实际问题等待人们去解决，吸引了大批有才华的学者。付立叶教授也建议他从事电磁学的研究。

汤姆生在巴黎留学的时候，用数学方法对于静电感应现象进行了研究。这在当时是一个难题。如果在接地金属板的前面放一个正电荷，金属板上就会感应出负电荷。感应电荷的分布十分复杂，不好计算。但是汤姆生用数学的方法证明：如果假想在金属板背后与正电荷等距的地方放上一个负电荷，用它来代替感应电荷的作用。可以大大简化计算。这很像镜子成像的原理，在电磁学中叫镜像法，这种方法一直用到现在。汤姆生的这个思想比麦克斯韦早 10 年。

汤姆生还研究了电场对于光的影响。他用数学方法表示出，一束光线在通过两块带不同电荷的玻璃片之间发生的极化现象。并在 1846 年英国科学协会的会议上发表。

在那次会上，就在他刚刚宣读完论文，回到自己的座位上的时候，一位头发花白的科学家立即走上去表示祝贺。当汤姆生得知这位就是自己仰慕已久的大科学家法拉第的时候，顿时肃然起敬向法拉第请教。

法拉第把自己的一本电学专著《电学实验研究》送给了汤姆生，希望他进一步研究。汤姆生也为能遇到自己久已仰慕的电学大师而无比兴奋。

1846年11月1日，汤姆生被提升为教授。这对于他的父亲老汤姆生是一个最大的安慰。老汤姆生是数学教授，小汤姆生是自然哲学（物理学的老式叫法）教授。父与子都是教授，对于汤姆生一家来说，是无上的殊荣。小汤姆生当了半个世纪的教授，他那富有戏剧性，甚至有点离奇古怪的讲述，深深地吸引着学生。

荣升教授后，汤姆生便悉心电磁学的研究。他首先把自己家里的酒窖改装成实验室。有时候，物理课干脆就在酒窖里进行。汤姆生对于电磁学做了大量的实验。力线思想在他的头脑里开始生根发芽！

汤姆生认识到，用精确的数学语言来描述力线是建立电磁理论的突破口。过去，许多人认为电力线和磁力线是法拉第缺少数学理论的产物。只是一种形象的描述，在电荷或磁极周围随便画上几条线便是力线。可以多画几根也可以少画几根。所以力线是不能用数学理论来描述的。

汤姆生曾经把这些思想写信给法拉第。他想用类似弹性体中“应力”分布的描述方法来描述电力线和磁力线。而且从这种理论出发可以说明电力和磁力之间为什么有必然联系。他还想把这个理论和光的波动理论联系起来。从这封信上看，汤姆生的思想已经完全接近后来被麦克斯韦建立起的电磁理论的核心内容了。但是，法拉第也许是由于健康的原因，没有给汤姆生回信。汤姆生没有及时得到法拉第的指导。

汤姆生对电磁学理论的一个重要贡献，是在1853年发表的《瞬变电流》，这篇论文指出了在莱顿瓶放电的时候，会出现一种振荡电流。就像我们去推一下秋千，它会来回地摆，然后才慢慢停下来一样，电流也会振荡。电流的振荡正反映出电磁场的变化，这对于建立统一的电磁场理论有很大的意义。

据后人分析，种种迹象说明汤姆生已经看到了电磁学的峰顶，找到了一条通往顶峰的道路。这条回转的山路的背后也许就是柳暗花明的境地。遗憾的是，他把这件事当成“以后的事来做”，可是后来，他再也没有做这方面的工作。

看见山路不等于登上峰顶，汤姆生只来到山的脚下。不过，任何一个伟大发现都不是一个人所能完成的，汤姆生做了开拓性的工作，后来他又毫无保留的传授给麦克斯韦，由麦克斯韦完成了这项流芳百世的工作。

不久汤姆生把自己的研究兴趣又转向了热学。并和焦耳一起做出了许多热学方面的贡献。

1855年，汤姆生开始对海底电缆通信产生了兴趣。在他的《瞬变电流》论文的基础上，发表了一系列关于海底电缆通信理论的文章。并出任大西洋海底电缆公司的董事。

汤姆生从此以全部的身心和最大的勇气投入到海底电缆的通信事业上。

继往开来的麦克斯韦

任何一个打开彩色电视机的人，任何一个享用现代科技成果的人，都应该想到麦克斯韦。麦克斯韦是最后完成电磁学大厦建设的人，他像一位高明的建筑师也像一位艺术家。他把那些零散的理论，集合在一起，形成一个完善的对称的四个微分方程，就像一个精美的艺术杰作。方程概括了自古以来人类对于电磁学研究所获得的一切成果。不仅如此，麦克斯韦的方程还预见电磁波的存在，吞并了光学王国，把独立存在了多年的光学兼并入电磁学的领域。

麦克斯韦出身于苏格兰的克拉克家族，麦克斯韦的童年就在这风景如画的格伦莱尔花园度过。门前有乌尔河流过，远处是肥沃的碧野，黑色的盖洛韦牛在田野里漫步，再望远方便是卡拉弗罗克的巨大三角形建筑。麦克斯韦的祖辈是这个建筑的世袭管理人。

他的童年如果说有不幸，就是在他 8 岁时母亲去世。麦克斯韦的母亲是一位极能干又爽快的人。她教麦克斯韦读书，并为儿子惊人的记忆能力感到骄傲，麦克斯韦在 8 岁时就能背诵 176 行诗句，母亲还鼓励儿子对于各种事物的好奇心。母亲死于癌症对于幼小的麦克斯韦是一个沉重的打击，多年来，他一直怀念他的母亲。

母亲逝世以后，老麦克斯韦便决定把儿子送到距乡下很远的爱丁堡公学去上学，寄住在姑姑家中，这是一所优秀的学校，校长是一位在牛津大学毕业的学者。但是，麦克斯韦最初在这里的遭遇却不佳。

他来到学校的时候，学校已经开学了，他操着乡下口音，穿着父亲为他特别设计的衣服和鞋子。麦克斯韦的父亲是一个热衷于技术和建筑设计的人，他的住宅是完全照他的设计的图样建筑的。他在给孩子设计服装时，崇尚实用，完全不顾及传统的样式。结果第一天上学就在班上引起了一场剧烈的哄闹。

放学时，回到家中，姑妈惊奇地看到，麦克斯韦穿着一身撕碎的衣服，却摆出一副勇敢的胜利者的样子，连姑妈也被他逗笑了。麦克斯韦深爱他的父亲，父亲热爱科学的精神深深地影响着他，他一定要坚持穿着父亲设计的服装上学，因此，他得到一个“怪物”绰号。“怪物”的绰号一直跟着麦克斯韦，因为，他确实有许多古怪之处。在一次学校举行的数学和诗歌比赛中，他一举获得两个科目的第一，后来又在数学竞赛中夺得冠军。更“古怪”的是他在 14 岁的时候就写了一篇名叫《论卵形线的机械画法》的数学论文。发表在当地最高学术机构的《爱丁堡皇家学会学报》上。对这个题目写过论文的只有大数学家笛卡尔、牛顿等。但是麦克斯韦的方法比他们的还要简便。连审定论文的教授也感到吃惊。

1846 年 4 月，这篇论文在皇家学会上宣读。通常宣读论文的都是作者本人，这一次却不是。因为麦克斯韦实在太年轻了，所以由德高望众的福布斯教授代读。这一点和开尔文的经历很相似。

麦克斯韦在爱丁堡公学学习时，成绩一直是很好的，但是，他的成绩从未在班上保持绝对优势，在 1847 年校长奖学金的考试中，麦克斯韦的名次是第六。后人评论麦克斯韦，认为他不是那种天才之花早谢的神童，而是大器晚成的人。

1865 年，麦克斯韦在法拉第和开尔文的研究基础上，完成了电磁理论的

研究，出版了《论电与磁》。这部巨著的出版引起了轰动。

麦克斯韦的《论电与磁》是一本电和磁的百科全书，它囊括了到那时为止所积累起来的关于电和磁的知识，并且加以提高，电磁学的宏伟大厦，巍然矗立起来。它可以和牛顿的《自然哲学的数学原理》，达尔文的《物种起源》，赖尔的《地质学原理》，这些里程碑式的著作相媲美，是人类智慧的结晶。后来，伟大的物理学家爱因斯坦提出了相对论，相对论修改了牛顿定律的形式，但是，麦克斯韦的方程却形式上没有丝毫的变化，仍然保持着它那对称完美的形式。

麦克斯韦虽然在科学上硕果累累。但是，他非常谦虚，他认为自己不能与法拉第相比，他说，他只不过是一支好笔，用数学的语言来表达法拉第的思想。尤其可贵的是他的大公无私的高尚品德。他把短短生命的最后几年，完全献给了整理卡文迪许留下的大量资料的工作。前面，我们已经介绍过脾气古怪的卡文迪许。他死后留下 20 多篇没有发表的科学手稿，其中，有许多有价值的东西已经埋没了几乎半个世纪，麦克斯韦为了完成这项工作，放弃了自己的研究，作出了巨大的牺牲。

1879 年 11 月 5 日，麦克斯韦患癌症去世，终年只有 49 岁，和他的母亲去世的年龄和病症一样。物理学史上的一颗可以和牛顿交相辉映的明星陨落了。

震撼世界的实验

在一间遮得很暗的实验室里，靠屋角摆着一台电学仪器，上面两枚金属做的亮晶晶的小球，像两只瞪圆的眼睛，这是一台制造电火花的仪器，当把电源接通以后，仪器便会发怒般地嗡嗡作响，两个球之间不时地发出吓人的响声和闪光。在这两个导电的金属球旁边，再连上两个向外伸展的金属片，活像一个长着两只硕大耳朵的双眼怪。

在另一张桌子上，立着一个装在绝缘底架上的金属圆环，圆环的顶上有一个很小的缝隙，缝隙的宽度可调节，一项人类久已盼望的秘密就要从这个缝隙上揭开。

一切准备就绪，实验者合上了电源开关，在嗡嗡作响的声音中两个金属小球辟辟啪啪地发出耀眼的电火花。为了不使眼睛被强光刺激，实验者转过脸去。因为他要观察对面圆环上的细缝，他紧张地注视着，仿佛在上面看到微弱的辉光，这是真的放电辉光，还是眼睛看花了，他揉了揉眼睛，把圆环上的间隙调小，再注意观察，此时辉光似乎亮起来，再调小一点，调小点，当两端碰到一起时，辉光消失了。现在不会有疑问了。在圆环的缺口上确实有微小的电火花穿过。

这就是人类第一次通过实验有意识地探测到的一个电磁波信号。实验装置出奇的简单。实验者是德国优秀的青年物理学家赫兹。

这是 1887 年，此时赫兹只有 31 岁，恰好与麦克斯韦预见电磁波时的年龄一样。但是，麦克斯韦已逝世 8 年了。如果麦克斯韦还活着，他一定会被他笔尖下预言的电磁波被证实而感到无限欣慰。

赫兹是如何想起做这样一个实验呢？说起来也是一件偶然的事件引起的。

1886 年春，作为卡尔斯鲁厄工科大学教授的赫兹，在给 学生讲授实验的过程中发现，在一个电容器放电的时候，放在附近的一个线圈上突然飞出了一个火花。这件奇怪的事情引起了他的注意。

回家路上，沿着莱茵河畔，赫兹一面走一面思考这个问题：线圈能飞出火花来，说明里面有电，可是这电是那里来的呢？线圈上并没有连接着电池啊！

不过，不接电池的线圈里也能有电流，他想起法拉第的实验，当把一个磁铁插入或拉出线圈的瞬间，线圈中能产生感应电流，但是，当时并没有像法拉第那样去做上面的事情啊！赫兹又想到，如果在这个小线圈的旁边，另外有一个通以交变电流的线圈，也可以在它上面感应出电流来，这是变压器的原理，赫兹回忆实验时的情形，旁边也没有这样的线圈，只有一个充了电的电容器，放电的时候打了一个大火花。

赫兹抬起头来向美丽的莱茵河望去，河水在夕阳的余辉下泛着玫瑰色的涟漪，他望着那消失在远处的水波，突然闪出了一个念头；那电火花一定是电磁波引起的！他抓住这个念头继续想下去，麦克斯韦曾经用理论计算证明，在电容器放电的时候，剧烈变化的电场可以产生变化的磁场；反过来，变化的磁场又能产生变化的电场，变化的磁场和变化的电场“手挽手”地离开了产生它们的地方，形成电磁波，电磁波能像激起的水波纹一样向外传播，不过这只是理论推导，还没有人真正的看见过电磁波。他想，如果电磁波的“波纹”传到小线圈处，那里便有了变化的电磁场，对！就是这样，不断变化的

电磁场就像是一只看不见的手，把“磁铁”在线圈里抽来抽去，从而感应出电流来，于是闪现出火花！

想到这里，赫兹特别高兴，因为柏林科学院最近对研究电磁场的工作提供了一笔奖金，他的老师亥姆霍兹建议他从事这方面的研究。他却不知道应该从什么地方开始。这个意外的实验鼓励了赫兹，他决心去摘取柏林科学院的悬赏课题。

为了产生更加强大的电火花，他使用了一个能产生很高的交变电压的感应圈。在感应圈的两极上装了直径为 30 厘米的锌球，从锌球上又引出两根铜线，在铜线中央形成 $3/4$ 厘米的火花间隙。

接收器是用粗铜线弯曲成半径为 35 厘米的圆形作成的。并留有极小的火花间隙。这样就出现了本文一开始的实验场面。

赫兹最后得到的结论是：在空气中确实存在着以有限速度传播的电磁波。1888 年 2 月 2 日，他向柏林科学院报告了这一个结果。

实验是在静悄悄的实验室进行的，对于科学界的轰动却是巨大的，它有划时代的意义。麦克斯韦天才的预言，在 26 年后终于被同样天才的实验证实了。这简直比海王星的发现更使人惊叹。人们开始认真地对待麦克斯韦的著作。

如果把电磁理论比作一座雄伟的大厦，法拉第给它打下了坚实的地基，麦克斯韦在地基的基础上建起了大厦，赫兹则是让这座大厦通过了严格的验收，从此人们完全依赖这座大厦并且使这座大厦的内部变得更加辉煌壮丽。

赫兹的实验不仅证明了麦克斯韦发现的真理，更重要的是开辟了电子技术的新纪元。赫兹向人们指出早已存在在我们周围的电磁波。他被誉为无线电通讯的前驱，后人为了纪念他，把频率的单位称为赫兹。

在赫兹实验后不到 6 年，意大利的马可尼、俄国的波波夫就分别实现了无线电传播和接收。无线电通讯发展十分迅速。无线电报（1894 年），无线电广播（1906 年），无线电导航（1911 年），无线电话（1916 年）、短波通讯（1921 年）、无线电传真（1923 年）、电视（1929 年）、微波通讯（1933 年）、雷达（1935 年）以及遥控、遥测、卫星通讯、射电天文学等，都是赫兹电波的产物。

第六章 婴儿变成了巨人

一个玻璃工人的贡献

当夜幕降临的时候，都市里最引人注目的就是街头的霓虹灯了。鲜艳的颜色，多彩的变幻在黑色天空的背景上显得格外醒目，就像进入了神话的境界。

如果白天去看一下霓虹灯，会发现那是一些像小拇指粗细的玻璃管子。这种管子又名叫盖勒斯管。

为什么有这样一个奇怪的名字呢？原来，这是科学家盖勒斯首先制造出来的。盖勒斯生于德国图林根的一个农村里，最初是一个吹玻璃的学徒工，到处流浪，后来积攒了一点钱定居在波恩，开了一个小作坊。专门吹制物理和化学实验时所需要的玻璃仪器。由于他的手艺很好，所以生意还不错。

盖勒斯是一个喜欢问为什么的人。每做完一个仪器，他总要琢磨一个这个仪器是做什么用的。如果弄不懂就去查书或请教来定做仪器的科学家。因此，他慢慢变成了一个业余科学家。在他的小作坊里不仅有煤气灯，各种工具，还有一些自己制作的仪器设备，像真空泵什么的。

1858年他接受了德国物理学家普吕克尔的定货，制作一种抽成真空的玻璃管。为了完成这批定货，盖勒斯使用了一种真空水银泵，这种真空泵虽然很原始，但比起当年葛利克做马德堡半球实验时用皮革制成的抽气桶要好的多。

夜幕降临了，作坊里只剩下盖勒斯，他一定要在今夜把这个仪器完成。突然，他发现真空管里有淡淡的闪光，开始很暗，但是随着真空度的升高增强起来，这个新发现使盖勒斯的困意全部消失了。

盖勒斯虽然是一个手艺人，但是对于科学的追求也是同样强烈的。其实上述现象在100多年以前就有人发现。1676年，法国物理学家皮卡德在搬运水银气压计时发现，当水银柱摇晃的时候，在水银面上方的真空区域里，有发光现象。他记录下这种现象叫做“水银荧光现象”，但不能解释。到1705年，英国的赫克斯认为这是一种与电有关的闪光现象。搬动水银时，由于水银和玻璃管之间的摩擦使玻璃管带电，所以真空区域发光。赫克斯用一个抽气机把一个玻璃钟罩抽空，并用静电起电机使玻璃钟罩带电，钟罩内果然发出辉光。法拉第也对这类现象进行了研究。但是由于当时的技术还不发达，不能得到很高的真空，所以影响了对这种发光现象的进一步探索。

盖勒斯在实验中发现，当玻璃管中充以不同成分的稀薄气体时，玻璃发出的光色不同。这个有趣的发现使他兴趣大增。我们今天看到的霓虹灯就是盖勒斯管发展起来的。管中不同的颜色是由于里面充入了不同的气体。例如，充入氖气就会发出橙红色的光，充入氩气就是翠绿的颜色。

现在把这种稀薄气体在高压下的发光现象叫辉光放电。当时定制这种真空玻璃管的科学家普吕克尔，也在研究这种低气压下的放电现象。与盖勒斯不同的是，他的目的是探求这种辉光的本质。

因此，普吕克尔并不满足于产生各种美丽的辉光，而把注意力集中到管内真空度对于放电辉光的影响上。因此，他定制了各种不同真空度的管子进行研究。他发现，当玻璃管里的真空很高的时候，辉光现象反倒不见了，但是在正对着阴极的玻璃管壁上，会发出绿色的荧光。这显然是由于有一种射线打在玻璃管壁上才会产生这种荧光。普吕克尔也不知道这是什么东西。只知道这种射线是从阴极发出来的，因此给它起了一个名字叫“阴极射线”。

可惜普吕克尔没有把实验进行到底就去世了。因此阴极射线的研究工作主要由他的学生希托夫以及英国物理学家克鲁克斯进行下去。

为了对阴极射线的性质进一步研究，克鲁克斯制成一种高真空管，后来人们称为“克鲁克斯管”。有人也称为“希托夫—克鲁克斯管”，因为希托夫也曾独立制成这种高真空放电管。

由于“克鲁克斯管”管内的高真空度，管内没有多少气体，所以放电时没有辉光，阴极发射的射线可以畅通无阻的射到对面玻璃上。克鲁克斯还发现，如果把对面玻璃内壁上涂上硫化锌，就是夜光表盘上那种荧光质，就会发出更强的光，甚至可以照亮附近的物体。这种发光现象称为“冷光”。

冷光现象引起许多科学家的兴趣，许多人在实验室里进行这种有趣的实验。

道德高尚的伦琴

正当人们对阴极射线的本质争论不休的时候，从德国巴伐利亚沃兹堡大学却传来了惊人的消息。

就是现代人人皆知的 X 射线的发现。

发现 X 射线的人是德国物理学家伦琴。伦琴是一位没有“文凭”的科学家。这倒不是由于父母没有钱供他念书。他的父母家道殷实，他是独生子。三岁以后，随父母迁居荷兰。来到外祖父的家里，童年是在外祖母的身边度过的。

他的父母原来希望伦琴长大做一个水利工程师，所以让他在大学里学习机械工程。

在德国，低年级的大学生有喜欢恶作剧的传统，他们常常在酒馆里饮酒到凌晨，在空无一人的大街上一面喧闹一面行走，有时还会去敲敲别人的窗子。伦琴的老师里有一位古板的教授最不受人欢迎，上课时索然无味还对对学生极其严厉。

这一天，又是这位教授来上课，教室里静悄悄的。伦琴夹着书本急急忙忙地刚坐到自己的座位上，老师就走上讲台了。当伦琴抬头一看黑板时，不仅哈哈大笑起来。原来，在擦得非常干净的黑板上，画着一幅漫画。不用说就是讽刺这位教授的。那尖尖的鼻子，圆圆的眼镜和藏在眼镜后的令人生畏的小眼睛，让人一望便知。

如果伦琴事先看过这张漫画，他是无论如何也不敢笑出声来的。这件事太突然了。他一抬头就看到了这幅漫画，这笑声像一阵风一样在教室里传开了。随着笑声，教授也看到了这幅显然是讽刺自己的漫画，不禁勃然大怒。他折断了手中的教鞭，愤然地质问伦琴。

伦琴当然不知这幅漫画出自那位高手，就是知道也不会说的。于是灾难就落到伦琴的头上。学校做出极不公正的裁决——开除伦琴。

1865 年 20 岁的伦琴，说服父母同意他到苏黎世综合技术学院改学物理。

物理学的广阔天地深深地吸引着如饥似渴求知的伦琴。大学里一般物理课程教学已经不能满足他。他听说德国沃兹堡大学康特教授德高望重，便决心登门求教，拜康特为师。

于是他风尘扑扑地赶到沃兹堡大学。但是他并不认识康特教授。正当他在教室的走廊里东张西望的时候，一位年轻的教授走过来。

原来，这就是伦琴要找的康特教授。康特挽着他走进自己的办公室，一边说：“你的论文的推荐信已经收到了，就在我办公桌抽屉里……”

“教授，您不会嫌我太年轻幼稚吧！我今年才 25 岁。”

康特教授亲切地拍了拍他的肩头，鼓励他说：“啊！我也只有 31 岁。”

就这样，伦琴当了康特教授的助教。在教授的悉心指导下，伦琴成长的很快。4 年后到施特拉斯堡大学工作。这所大学没有一般高等学府的种种陈规陋习，冲破了形式主义的束缚，授予没有文凭的伦琴以副教授的学衔。从此，他有了独立进行研究工作的权利。

伦琴主要的方向是气体的性质、晶体的电性质等许多当时的物理学未解之谜。他先后发表了 18 篇专题性论文，使他的名声远远越出了德意志的疆界，驰名于全世界。

1885 年深秋，伦琴突然接到康特教授给他的信，说他健康状况恶化了，

希望他立即到沃兹堡大学接替他的职位。

当他赶到沃兹堡时，康特教授已到山区去疗养了。

伦琴为了不辜负老师的重托，利用沃兹堡大学的良好的条件加倍努力地工作。

伦琴是一位身材高大沉默寡言的人。他对工作的热忱有时达到疯狂的状态。他经常忘记吃饭忘记休息。在沃兹堡大学期间，他热衷于阴极射线管的研究。

由于阴极射线管中的辉光非常微弱，所以在做实验前一定要把屋子遮得很暗。伦琴用一张黑纸把阴极射线管严严实实地包好，不让一丝光露出来，然后看看屋子是否够暗。就在这时候，他看到桌子上距阴极射线管 1 米左右的一张纸在闪闪发光。伦琴不知道这是那里漏出来的光，他在黑暗的屋子里找来找去，也没有找到一处漏光的地方。最后他把阴极射线管的电源切断，闪光消失了。

看来这个闪光跟阴极射线管有关。他取来一张黑纸，又在阴极射线管外面包裹了一层。再打开电源，闪光又出现了。他用一本厚书挡在管子与纸之间，闪光仍然存在。

伦琴划了一根火柴，才看清原来这是一张涂了荧光材料的纸。

伦琴开始明白了，一定是从阴极射线里发出了一种看不见的射线，是这种射线使荧光纸发光的。他知道自己偶然遇上了一项重大的发现。

为了进一步进行研究，他在实验室里连续工作了 6 周。他知道从阴极射线射出的一种看不见的未知射线，这种射线有强大的穿透能力。玻璃、橡胶都挡不住。他把荧光纸放到隔壁实验室，这张纸仍然闪闪发光。这说明射线具有强大的穿透力。后来，他又用各种金属进行实验。发现除了铅和铂以外，其它的金属都能被穿透。

这真是一种了不起的未知射线。伦琴给他命名为 X 射线。后来，科学界为了纪念伦琴，把它命名为伦琴射线。

1896 年 1 月 23 日，沃兹堡大学的演讲厅里挤满了从各地来的学者、医生、工程师、企业主、记者和艺术家。他们都是应邀来参加一个重要的学术报告会的，虽然有人对物理学一窍不通，但是都兴趣盎然。在过道上、窗台上，都站满了闻讯而来的大学生。

这个严肃的学术报告非常具有戏剧性。当伦琴问台下的贵宾那一位愿意照一张 X 光照片的时候。80 岁高龄的科学家克拉克走上前来。

“请把您的右手放在感光板上。”伦琴亲切地说道。

伦琴的助手瓦格涅尔将四周的光遮住，伦琴熟练地操纵着阴极射线管重复着过去的实验。

经过几分钟的沉寂，瓦格涅尔举起潮湿的感光板。在光亮的背景下，众人都看到一位 80 岁老人的优美的手骨。

当人们从惊奇中清醒过来后，大厅里响起长久的欢呼声和热烈的掌声。

而一些女士们弄明白了这些事情以后，都紧紧地裹住自己的裙子，她们生怕别人用 X 射线看透自己的衣装。其实这是毫无必要的担心。因为发出 X 射线是一大套非常复杂的装置，不可能变成像眼镜一样轻便的仪器随身携带。

X 射线的贡献首先是医学方面，X 射线发现才 4 天，美国医生就用它找出病人腿上的子弹。同时对物理学也有革命性的影响。人们把 X 射线的发现看

成是第二次科学革命的第一声号角（第一次革命是从伽利略的落体实验开始的）。

在此后的一年中，世界上有关 X 射线的论文就发表了 1000 多篇。X 射线的研究导致了原子放射性的发现，人类的科技史又迈上一个新台阶。

企业家也蜂拥而至，出高价购买 X 射线技术。50 万，100 万，出价越来越高。

“哪怕是 1000 万”伦琴淡淡的一笑答道，“我的发现属于全人类。但愿这一发现能被全世界科学家所利用。这样，就会更好地服务于人类……”

因此，伦琴没有申请专利权。他知道，如果这项技术被一家大公司独占，穷人就出不起钱去照 X 光照片。爱迪生得知这个消息后深受感动。他发明了一种极好的荧光屏来接收 X 光，和 X 光射线管配合使用，也例外的没有申请专利权。

为了奖赏伦琴在科学上的贡献，巴伐利亚贵族院准备授予他王室勋章及贵族封号。但是伦琴不愿意用贵族身份来玷污自己的名字，他不顾一些势利小人的恶意诽谤，拒绝接受这一贵族封号。

在诺贝尔逝世 5 年以后，首次颁发他所奠基的诺贝尔奖。伦琴是第一个获物理奖的人。他高兴地接收了诺贝尔奖金，但是却把数额为 5 万瑞典克朗的奖金转赠给沃兹堡大学。

隐身人显形记

忙碌了一天的卡文迪许实验室，在下班后变得空寂无人。柔和的月光穿过窗户照在形状古怪的瓶瓶罐罐上，又反射回来。沐浴在月色中的奇形怪状的仪器拖着长长的影子，仿佛是从太空来的怪物。

门慢慢推开了，有个身材修长，蓄着两撇八字胡的人走进来，他以轻快的步子走到一张实验桌前面，扭亮一盏小台灯，然后迅速地把窗帘拉上，让一点光线也透不出去。

在实验台上，放着一个很大的阴极射线管。接通电源以后，发出淡淡的蓝绿色光。这是一种真空度很高的阴极射线管。因此要在非常黑暗的环境下才能看到管中的微弱闪光。在微弱的闪光中，人们发现了许多东西，包括 X 射线。但是，阴极射线本身是什么还是一个未知数。物理学家一天不知道事物的本质，就一天不得安宁。

这个孤寂的实验者名字叫汤姆逊。做过麦克斯韦的学生，在物理学史上常称他为 J·J·汤姆逊。汤姆逊出生在一个富裕的书商家里，但是汤姆逊的父亲原来可不是那么富有。父亲在幼年时因家境贫困靠卖报糊口，后来在曼彻斯特市的大街上摆书摊。经过奋斗，成为一名专印大学课本的著名书商。他从自己的经历中深知没有知识的苦衷，因此，对于儿子汤姆逊的教育十分关心。从小就为小汤姆逊聘请了家庭教师指导他的学业。

小汤姆逊父亲的朋友中有许多是学者、教授。当这些教授到他家做客的时候，他总是静静地听着大人们之间艰深而又有趣的谈话，他一有功夫就跑到欧文学院去玩耍和听课。在这浓厚的学术气氛的影响下。小汤姆逊从小就打下了坚实的学习基础。14 岁便进了曼彻斯特大学。

但是，不久老汤姆逊去世了。家境开始困难，幸运的是小汤姆逊获得了在欧文学院继续学习的助学金。在那里他受到一些杰出的科学家的影响。1876 年进剑桥大学学习，仍享有助学金。毕业时，他的数学成绩名列全班第二名。早期汤姆逊研究数学，由于出色的工作，27 岁时被选为皇家物理学会会员，刚满 28 岁又出人意料地被选为卡文迪许实验室的物理教授，接替诺贝尔奖金获得者瑞利教授的职务，进入人人向往的卡文迪许实验室。

对科学无限热忱是汤姆逊的特有的工作风格，他一心扑在工作上，甚至忘记自己的婚事。吉德勋爵的女儿露丝是汤姆逊剑桥大学的同学，早已深深地爱上他。而汤姆逊却没有觉察，直到露丝自己提笔向他求爱。但汤姆逊说。要等到他获得亚当斯物理学奖时再结婚。

1890 年元旦，汤姆逊终于实现了自己的诺言，荣获亚当斯物理奖。已经 34 岁的汤姆逊和始终不渝地等了她多年的露丝小姐结为百年之好。连国王、王后也赶来祝贺，一时传为佳话。

前面我们说过，科学界虽然通过阴极射线管发现了 X 射线，但是对于阴极射线本身是什么物质，仍然疑惑不解，争论不休。一派观点认为是带负电的粒子，因为物理学家瓦尔利发现阴极射线在磁铁的作用下能改变前进的方向；另一派观点是赫兹和他的学生，他们认为这淡淡的闪光是电磁波。赫兹曾在阴极射线管内的两侧上加上了两个电极。他检验，如果是带负电的粒子的射线，射线在电力的作用下应该偏向正电极，但是赫兹没有观察到这种偏转。因此，他认为这射线是不带电的电磁波，像光一样在电场中不偏转。

汤姆逊比较同意阴极射线是一束带负电的粒子流的观点，为了证明这一

点，就应该找到为什么电场对这束负电粒子流不产生作用的原因。他仔细地分析了赫兹做实验的阴极射线管：赫兹在玻璃管里放了一对电极，上极板通上正电，下极板通以负电。如果阴极射线是带负电的粒子，通过这两块极板时，因为受到正电的吸引和负电的排斥应该向上偏转。可是为什么不偏转呢？

多少个不眠之夜过去了，在静静的实验室里，汤姆逊盯着那淡蓝色的光束思考着。忽然，他想出来问题的症结所在。让我们引用他的原话，他说：“在进行赫兹实验时，起初我也和他一样获得了不偏转的结果，但后来的实验表明，不产生偏转是由于稀薄气体的导电性的影响。”这话似乎有些费解，简单说，就是由于阴极射线管中残存的气体的导电性，不断地把正负电极板上的电荷中和掉了，当然不会对阴极射线产生偏转作用了。

聪明和细心是汤姆逊成功的保证，在他设计的实验中，证明了阴极射线不仅在磁场中偏转，而且在电场中也能偏转，从而确定了射线确实是带负电的粒子。下一步，就是要测定这种带负电粒子所带的电量和质量。这是一件非常细致的工作。他细心地调整电流的强度，仔细地测量偏转角度，还要慢慢调整作用在射线上的磁力和电力……通过耐心的实验，他测出了射线粒子也就是电子的质量，竟是当时已知的最小的氢原子的 $1/1837$ 。可想而知，测出这样小的质量，该有多么不容易，要经过多少夜晚和不眠之夜。

这个惊人的发现引起了物理界的震动。从泰勒斯到本世纪初电学的发展经历了一千多年，人们终于知道了电是什么！

一件事情一旦掌握了它的本质，就会产生应用上的飞跃。1906年6月26日是一个值得纪念的日子，这一天德福雷斯特向全世界宣告，他发明了“空中帝国的王冠”——真空三极管，德福雷斯特在弗来明发明的真空二极管的基础上，增加了一个能控制电子束的第三极——栅极，使三极管具有放大电信号的作用，这是一项划时代的发明，从此电报、电话、无线电通讯就像插上了翅膀，再也不怕路途遥远、信号衰减、长途电话，越洋无线电通讯从此迅速地发展起来。

1950年肖克莱等人又发明并制出了实用的晶体管，使电子器件向小型化发展，这是电子工业的又一次革命。在晶体管发明30年后，人们又发明了集成电路、大规模集成电路和超大规模集成电路，在一块米粒大的芯片上可以容下十几万个晶体管，电子工业的发展是任何人所预料不到的。如今在我们的国民经济中形成了一个巨大的电子行业，工业、农业以及日常生活中的每一件事都离不开电子。

是谁开启了这个神话般的电子时代的呢？

当然我们不会忘记曾在那寂静的实验室里工作的汤姆逊，在20世纪开始的第六个年头上，汤姆逊就获得了诺贝尔奖。他在物理学方面既是杰出的理论家又是伟大的实践家，他不仅有聪明的头脑，还有一双灵巧的双手。另外，他还是一个十分严肃认真的人。汤姆逊成名以后，许多国家争相邀请他去讲学，他从不轻易应允。如美国普林斯顿大学曾几度恳请他前去，他只答应讲6个小时。他的每一次演讲都会有新的理论、新的观点，甚至创导一门新的学科出现。

汤姆逊领导卡文迪许实验室30多年，在此期间，他的助手中有七位先后获诺贝尔奖。

意想不到的妙用

1946年的一天，美国雷门恩公司的一位名叫珀西·斯潘塞的工程师，正在全神贯注地做雷达起振的实验。忽然，一位同事看到他胸前的衣兜上渗出暗黑色的血迹，就慌忙地说：“珀西，你受伤了，上衣袋那儿渗出血了！”

珀西用手一摸，湿糊糊的，吓得脸也变白了。可是这时他突然明白过来，原来是衣袋里的巧克力糖融化了，真是一场虚惊。

珀西换了一件干净的衬衣又继续工作，但是巧克力为什么能融化？这件事使他不能安心。当时珀西正在研究25厘米雷达电波在空间分布的状况，此时雷达天线正在发射着强大的电波。

忽然，脑子一亮，他想通了，一定是雷达波的作用，我们知道，世界上的物质都是由带电粒子组成的。电磁波是变化的电场和磁场组成的。电磁场的方向不断地变来变去，带电粒子也就跟着转来转去，产生热量。这种加热方式和传统的加热完全不同。当我们在锅里煮一个鸡蛋或一块肉的时候，热量是从外面慢慢传进去的。外面的蛋清已经煮老了，里面的蛋黄还没有太熟，为了把整个鸡蛋煮熟，就要延长加热时间而浪费许多热量。用雷达波加热食物，每一小部分都在电磁波的作用下同时热起来，并不需要热的传导，因此非常省时，想到这里，珀西立即动手制作了一个用雷达波烤肉的灶具。现在我们把它叫做微波灶。

微波灶内有一个能发射雷达波的发生器，为了不使雷达波跑出来，在灶具外面包上一个金属外壳，把雷达波限制在里面。

微波灶加热食物快，而且只对富含水份的食物起作用，盛食物的瓷盘子却不会被加热。当你关了微波灶，从中取出食物的时候，一点也不用担心被盘子烫着手。

一件意外的事故发明了电磁灶，为现代的家庭主妇添了一个帮手，这是微波在加热食物方面的应用。

你一定没有想到，另一件意外的事情，使医生找到了一个战胜癌症的利器。

有一次，有一个癌症病人高烧不退，家里人已经为他准备后事了。但是，在高烧退去后，病人的癌肿瘤竟完全消失了，这件怪事引起了医学界的重视，经过研究，发现癌细胞比一般的正常细胞对热更敏感，在比正常体温略高的温度下，正常细胞还能耐受，但是癌细胞就会被杀死，这就是高烧后在癌症病人身上发生的奇迹。

不过温度的控制是十分重要的，例如：热死脑癌的温度阈值是43.5摄氏度。1975年，德国科学家佩蒂克大胆地使用了一种全身麻醉加热的方法。他把麻醉后的病人放到50摄氏度的石蜡液体中，同时让他吸入高温气体，使体内达到41.5—41.8摄氏度。据说治愈了很多肿瘤病人。

但是有的癌肿要更高的温度才能杀死，例如脑癌细胞。但是人体不能长期处在这样的高温下，应该有一种局部加热的办法才行，科学家想到了微波灶对食物加热作用的原理，是不是也可以引用过来，对癌肿瘤进行加热呢？当然，决不能像加热食物那样，把整个人放在微波下烘烤，那是非常有害的。但是可以把微波天线做得很细很小，然后把它放到有肿瘤的部位，只烤那一局部。现在已经制成了一种极细小的微波发生器，可以从口腔进入到食道里，用这种微波发生器把食道中的癌细胞杀死，使堵塞的食道畅通，不必实行大

手术。对于前列腺肿大也可以用类似方法治疗。

冠心病是由于冠状动脉堵塞造成供血不足，只要切开一个小的口，把极细的微波发生线圈送到血管里，就可以烧去血管内壁上的多余物质，使血管内壁变得光滑和富有弹性，目前有许多医院里已经可以进行这种手术了。

用于医疗的微波发生器发出的能量极小，只会对周围的一小部分肌肉有作用不会伤害其它的组织，并且由计算机严格控制其温度，是一种现代精密的医疗仪器。

微波的另一个妙用是用它来传递能量。

据说本世纪 80 年代时，美国驻某国大使馆的工作人员经常感到身体不适，却查不出什么病来，也许是水土不服吧！于是大使馆的工作人员轮流定期回国休养。后来由国内派来的电子专家对使馆进行例行公事检查的时候，发现有一束微波每天定时照射着这座大使馆，使馆的工作人员是由于受到过多的微波照射才损害了健康。

但是，这一束微波是从哪儿来的呢？

电子专家发现，陈设在大厅里的一个木雕雄鹰，是微波照射的目标。这个雕像是美国的象征，是这个国家为了表示友好送给美国大使馆的，送来后就一直挂在这个会议大厅里。

拆开木雕才发现，里面有一个窃听器，这个窃听器没有自带电源，它的能量是由远处发射一束微波送来的。当微波束照射到这个木雕像时，窃听器便开始工作，并把大厅中的声音由一束微波送回去。这种运输能量的设计，不能不认为它是巧妙的。

把这个思想用到空中飞行的飞机上，飞机便可以从地面射来的微波束中获得能量，不用着陆，不用空中加油，持续不断地环球飞行。

最宏伟的设想，是利用微波把太空发电站发出的能量送到地球，预计在下个世纪，人类将在月球上建立一个大型太阳能发电站，所以向地球出口的“贸易”向地球输送电能的最好方法是通过微波束。当然，如果飞机或生物穿过微波束的时候，会受到严重损害，不过地球上许多荒无人烟的沙漠地带，在那些地方建立微波接收站，就可以避免意外事故的发生。

电磁大炮

1980年的一天，一声刺耳的声音冲破安科峡谷的静，一颗炮弹以10公里/秒超过逃脱地球引力的速度，呼啸而过直奔目标。

这是美国五角大楼在山谷里进行秘密实验的一种新式武器——电磁炮。自从我们的祖先发明火药以后，就一直使用火药来发射炮弹。常规的火炮，炮弹的最大速度与火药的特性及炮筒的质量有关，一般是每秒2000米。为了加大炮弹的速度，就要努力延长炮筒的长度，多填装炸药，但是这些都是有限度的。电磁炮从理论上可以使炮弹的最终速度接近光速。具有这种速度的炮弹一旦研制成功，发射卫星就不必使用火箭了。想一想发射火箭时可能出现的风险，有毒燃料对于大气的污染情况，研究电磁炮的重要意义就可想而知了。

发射一枚电磁炮弹和火炮相比，所需能量小得多，也许只等于一座教学楼一天的用电量。计算表明，如果用电磁炮发射一个1000吨的宇宙飞船，让它逃离太阳的引力，速度达到每秒12公里，所需要的仅相当于一个发电站1~2分钟发出的能量，比现在的方法不知要节省多少倍。但是要求的功率很大，也就是说必须在十分短暂的时间内把这些能量释放出来。在发射电磁炮的时候，大约需要上百万安培的电流，输出百万千瓦的功率。

问题是如何把能量集中起来，在一瞬间产生上百万安培的强大电流。这是电磁炮研究的焦点。我们都知道著名的莱顿瓶的实验，莱顿瓶能把电一点一点地贮存起来，当把两极靠近时，电会突然释放出来，打一个大的火花。莱顿瓶就是电容器。目前使用的电容器容量都太小。工程师奥·马克找到了种增大电容器容量的办法，近十年来，电容器的容量已经翻了50番（不是50倍）。大容量的电容器突然放电，就可以在一瞬间产生强大的电流。

电磁炮的样子和现代火炮完全不一样，它的结构简单，便于伪装，炮弹的初速度大，弹道几乎是直线，用来打飞机，可以减少瞄准时的计算。百发百中。美国陆军有可能把电磁炮装在新一代坦克上。各国军事部门对于电磁炮的研制均抱有极大的热情。

风景这边独好

1911年，从著名的莱顿大学低温实验室里传出了一个惊人的消息：水银在零下269摄氏度的条件下，它的电阻消失了。

过去，人们从未想到过导体的电阻可以变得一点也没有。电阻可以说是一种同时具有“优”“缺”点的性能。我们知道白炽灯泡能亮是由于灯丝有电阻，电炉能烧饭也是归功于炉丝上的电阻。但是，在输电线上，在电动机里，在电子器件中，电阻使电能产生白白的消耗，电阻越大，电的消耗也越大，在这种情况下，我们希望电阻越小越好，最好是没有，如今真的能让电阻消失，这对电气工程来说，真是一个大喜讯。

发现这个现象的是荷兰物理学家卡麦林—翁纳斯。翁纳斯领导的实验室是世界上“最冷的地方”，虽然莱顿城里鲜花常开，但是实验室里制造出来的低温，比南极或北极的最低温度（—88摄氏度）还要低几倍。

低温世界是一个魔术般的世界，把一束鲜花放在液态氮中一浸，拿出来向地上一摔，鲜花就会像玻璃一样破碎；把一只橡皮球放在液态氮里一浸，拿出来以后；能像铃铛一样敲响。水银在低温下冻得比铁还硬，可以用锤子把它钉在墙上；在液氮中冻硬的面包，在漆黑的房间里竟然发出天蓝色的光辉。

翁纳斯简直被这童话般的世界迷住了。他决心获得更低的温度。当时，科学家已经能把除了氦气以外的气体全部都变为液态。利用液态氢，已获得了零下253摄氏度的低温。但是，要使氦气变成液态困难还很大。例如在液体氦的温度下，连空气都会变成固体。如果不小心与空气接触，空气便会立刻在液体氦的表面上结成一层坚硬的盖子。但是翁纳斯是一位出色的实验专家，这一点困难是吓不倒他的。

翁纳斯出身在一个书香之家，叔叔伯伯都是知名的学者，父母也是博学之士。翁纳斯从小就表现出对于数学、物理的天分。他不仅喜欢读书，把家中丰富的藏书读个遍，还喜欢动手实验。

翁纳斯有一次做实验时，化学药品引燃了周围的织物，等他发现时，火势已不可控制，火借风势，刹时间半座楼就被烧毁了。他被吓坏了，逃到野外，在灌木丛中躲了一夜。

救过火以后，父母亲才发现翁纳斯丢了。于是又连夜寻找直到次日的凌晨。看到缩成一团的小翁纳斯，又冷又害怕，父亲非常心疼，他一把抱起儿子说，“我的孩子，别害怕，为了研究科学，你就是把自家的房子全拆了，把田地全毁了，我也不会埋怨你的。”父母的教育对翁纳斯产生了极大的影响。

翁纳斯的成就还要感谢两位老师的精心培养。18岁的翁纳斯进入德国海德堡大学学习，深受著名化学家本生和学者基尔霍夫的器重。在两位导师的指导下，他养成了锲而不舍、精益求精的治学态度，很快就获得博士学位。29岁就担任莱顿大学物理学主任教授，并着手在该校建立一个低温实验室。

提起科研，提起实验室，小读者的心目中总是明亮的屋子，轻松的工作，只要按一下电钮就可以了。实际上，低温实验室简直像一个车间，实验室里充满了管道，还有隆隆作响的真空泵。因为低温不是一下子就能获得的。必须沿着温度的台阶一步一步温度越低就越困难。翁纳斯先用液化氯甲烷达到—90℃，用乙烯达到—145℃，用氧气达到—183℃，用氢气达到—253℃。

终于在 1908 年成功地实现了最后一种“永久气体”——氦气的液化，得到了—269 的低温。他用液氦抽真空的方法，得到—272 。

这个温度属于超低温，当时世界上只有莱顿大学的低温实验室可以得到这么低的温度。翁纳斯和他的同伴在这得天独厚的条件下进行极低温下的各种现象的研究。他们发现水银、铅、锡一般降温到该物质的特性转变点以下时，电阻会突然消失，变成“超导电性”物体。

这就是说，在一个超导线圈中一旦产生了电流就会周而复始地流下去。因为电阻已经消失，电流不会在流动中衰减，翁纳斯把一个铅制的线圈放在液体氦中，铅圈旁放一块磁铁，突然把磁铁撤走，根据法拉第发现的电磁感应，铅圈内便产生了电流。

果然，在低温的条件下，电流不断地沿着铅圈转起来，就像不知疲倦的一匹马一样。1954 年 3 月 16 日的一次类似实验，电流持续了长达两年半的时候，一直到 1956 年 9 月 5 日才由于液态氦供应不上而终止。理论计算表明，如果保持这种低温条件，电流就是流 10 万年也不会衰减。

这种现象物理学称为超导现象。1913 年，翁纳斯因为这项重大的发现获诺贝尔奖。翁纳斯之所以能获得这种殊荣，与他的治学态度有关。他在总结自己一生探索经验时说：“只要一养成做学问的习惯，那就跟一日三餐那样，到时不吃不喝，就会感到饥渴难忍。有了做学问的习惯，还要牢记一点，那就是专和精。跟整个知识相比，个人所掌握的实在太渺小了。我认为，人可以在专和精中求广博；如果想懂得一切，那显然是不切实际的无稽之谈。”

翁纳斯的这一番话是值得我们深思的。他的一生也确实是这样做的。在逝世的前两年，他已是 71 岁的老人，仍然经常通宵达旦地工作，直到他 1926 年逝世之日。

全新的电气时代

在翁纳斯的时代，超导只能是实验室里的新奇玩意，虽然在工程技术上的应用前景无限广阔，但是获得超导要求的温度太低了，只有用液体氦才能达到如此低的温度。氦气在空气中含量很少，在一升空气里大约只有5立方毫米的氦气，而且大气中的氦气还在不断地减少，逃到太空中去。这是由于它太轻，地球的引力已经不足留住它，但是氦的用途又很多。例如：制造探空气球或飞艇，就要使用大量的氦气。虽然氢气比氦气轻，但是氢气“脾气”不好，易燃易爆，而氦气则是惰性气体，用在气球或飞艇上十分安全，另外由于液态氦是世界上温度最低的物质，所以在航天、气象等方面还有许多用途。

空气中最多的气体是氮气，占空气总量的78%。液态氮的温度比液态氦要高70多度，是零下196摄氏度。当然，水银和铅在这种温度下不会呈现超导现象。会不会有一种什么物质能在液态氮的温度下就呈现超导现象呢。如果有，就可以大大降低致冷所需的费用，节省稀有的氦气。

于是各国科学家开展了一场像大海捞针一样的实验。这和爱迪生寻找能做灯丝的物质类似，不过现在不是一个人做，而是世界性的，世界上约有260个实验小组参加。

开始他们发现有28种金属在低温下能变成超导体，不过所需的温度都与翁纳斯发现的水银超导所需的温度差不多一样的低。后来，科学家又想到合金及化合物来试一下，发现了数千种物质有超导性。

由于超导现象出现的温度很低，物理学家使用开氏温标来记录温度。我们已经知道，这是科学家开尔文提出的，开氏温标的零度叫绝对零度，相当于零下273.18摄氏度。开氏温标和摄氏温标的温度间隔是一样的，开氏温标在数字后面用一个“K”字表示，而摄氏温标用℃来表示。为了使读者习惯开氏温标，我们在文中同时也注出它的摄氏温标。

从1911年到1973年，在这60多年间超导临界转变温度的提高速度极慢。仅从2.3K（—270.9℃）提高到23.2K（—250℃），平均每年只有0.3度。温度的爬升就像一场艰苦的登山竞赛。在宁静的实验室里虽然没有风暴也没有雪崩，但是其困难程度比登山更难，因为前面完全没有路，要靠自己开创。

功夫不负苦心人，1986年两位青年超导物理学家作出了重大突破，一下子把超导温度提高了十几度。他们中间的一位是出生在联邦德国的柏诺兹，另一位是瑞士物理学家缪勒。柏诺兹比缪勒小23岁，但是他们是亲密无间的研究伙伴。他们先尝试了一些金属氧化物，但均没有发现超导电性的迹象。后来，柏诺兹在一家杂志上看到了法国卡昂大学的化学家米歇尔等人的一篇论文，里面谈到有关镧、钡、铜氧化物的研究成果。柏诺兹以他那特有的洞察力发现这篇论文里有“真金”。于是他和缪勒一起深入地研究这些材料来。

超导的科研工作是十分单调和枯燥的，科学家在实验室里，首先要自己制备样品，然后放在低温下进行实验。在实验室中他们夜以继日的工作着。先把镧、钡和铜的硝酸盐，用水溶液沉淀的方法得到沉淀物，然后把它放在900摄氏度的炉子里进行加热分解。还要用压力机压成片状。最后放在900摄氏度的炉子里烧结。这样就制成了一个陶瓷样品。再把样品放在低温环境下进行实验。测定各种数据。

我特别把这个过程介绍出来，是为了让小读者知道什么是科研工作。它很艰苦，但也不神秘。现在有的中学生也在进行这样的实验，参加了超导的探索行列。

经过三年的艰苦努力，突破的时刻终于到来了，柏诺兹在回忆的时候说：“每当我把仪器安装好时，我都预感要发生什么令人激动的事，但却什么也没有发生，直到这一次。”

这一次成功了。

但是他们对自己的重大的发现非常谨慎，他们再三核对了实验结果。后来决定在一个不太著名的德文《物理学杂志》上发表，其目的是并不希望太令人震惊。因为当时宣称自己发现新超导物质的虚假论文比比皆是。他们又继续进行了几个月的测量，才在1986年10月22日将另一篇论文送到《欧洲物理学通讯》发表。

这次可真的引起了轰动，他们一举把超导临界转变温度提高了十几度，从23.2K提高到35K（—238.2℃），打破了过去几十年在超导研究上的万马齐喑的沉闷气氛，引发了世界性范围的超导研究热潮，日本科学家立即用实验证实了他们的结果。

1987年，瑞士皇家科学院宣布，柏诺兹和缪勒“由于他们在陶瓷超导材料的发现中的重要突破”而荣获1987年的诺贝尔物理学奖。

世界上有许许多多的科学奖，但是诺贝尔奖金的权威最高，为了慎重，诺贝尔奖金通常是在科学家做出重大贡献数年甚至数十年以后，在成果得到广泛承认以后，才予以颁发。但是，这一次，柏诺兹和缪勒仅在他们发现的第二年，就获得了诺贝尔物理学奖，这在诺贝尔物理学奖的历史上是绝无仅有的。

对超导有特殊贡献的人还有许多人，其中有一位是华裔美籍物理学家朱经武。朱经武出生在我国湖南省，不久以后，他就随家人一起去台湾，并在台湾长大成人。1962年他从台湾的成功大学毕业，获学士学位。毕业后，朱经武先是在台湾空军中当了两年少尉。1963年去美国求学，1968年获博士学位。在名师的指导下与超导物理结下了不解之缘。从1970年起朱经武到休斯顿担任了物理教授一直到现在，他始终没有离开过低温物理学。

柏诺兹和缪勒的论文发表后，朱经武立即相信这篇论文的真实性。因为当时他也在进行这样的研究工作。一开始他也没有注意到他们用德文发表的论文。在柏诺兹和缪勒工作的基础上，他用加压的办法使超导临界转变温度达到52.5K（—220.7℃），上了一个台阶。

1986年12月26日从中国科学院物理研究所又传来喜讯。我国物理学家赵忠贤教授等人在朱经武的基础上，把超导温度又提高到70K（—203.2℃），再上一个台阶，这个温度已经非常接近液态氮—196℃的温度。

他们在做实验的时候，发现一种奇怪的现象，当使用纯度不太纯的原料的时候，反倒能提高超导转换温度，这说明不纯的物质中一定含有一种未知的能把超导的温度提高的物质，于是他们在试验物质中故意增加了一些新的稀土物质。此时美国的朱经武已经再次把超导的温度提高到90K（—183.2℃）。他们的方法正是赵忠贤等使用的那种方法，从而使赵忠贤和他的合作者确信已经把握住了进入成功之门的钥匙。

1987年2月19日上午，中国科学院物理所的第一块预期的超导样品制成了，他们又继续奋战到2月20日凌晨2点，进一步的实验完全肯定了这一

结果。他们的样品零电阻在 78.5K，起始临界转变温度 100K（—173.2℃）以上。这就是说，他们发现了使用液态氮就可以呈现电阻为零的超导物质。2月 21 日《科学通报》接受了他们的论文。他们又连续工作了 48 个小时，2月 23 日又制出了第二批样品。这是一个重大的突破。

赵忠贤教授出生在我国辽宁省新民县，中学是在辽宁省阜新度过的。1959 年他以优异的成绩考入了中国科技大学在物理系就读。他对低温物理有浓厚的兴趣。

由于赵忠贤教授在超导研究方面的出色的工作，他获得 1987 年第三世界科学院的物理奖，并成为第三世界科学院的院士。

在此期间美国、日本国的科学家也取得了可喜的成绩。

人们相信在不久的将来，一定发现一种能在常温条件下呈现超导的材料，到那时候，我们电气时代就会出现全新的面貌。

正当科学家在实验室里全力寻找新型的超导材料的时候，工程技术人员已经开始把它应用到实际中去了。一种被称为“子弹列车”的磁悬浮列车已经在试验之中了。

当我们把两个相同的磁极靠近的时候，两个磁极会相互排斥，这就是磁悬浮列车的原理。但是，要把一个几十吨重的列车用磁力悬浮在铁轨的上面却不是一件容易的事。用天然磁石和用永久磁铁都没有那么强大的磁力，可是当电流通过有电阻的导线时，会产生大量的热，甚至会熔断铜线。如今有了超导线圈，问题解决了。车上的电磁铁是用超导体合金制作的，放在车体下部的两侧，可以使车体浮起 10 个厘米左右高。由于悬浮列车和地面之间完全没有摩擦力，所以最高时速可以达到每小时 500 公里。目前这种列车还在实验阶段，不久的将来豪华、舒适、快捷的磁浮列车就会代替现在的普通列车了。

电磁船是超导在交通运输上的另一个应用。我们知道，奥斯特发现了电流的磁效应以后，安培立即研究了通电导线在磁场中受力的规律。

美国一位叫赖斯的博士根据这个原理提出用电磁力推动船只前进的设想。

例如，在船上安上一块强大的马蹄形电磁铁（如图所示），把海水当做实验中的铜导线，给它通以电流，让海水在磁场的作用下向后喷出，产生的反推力就会使船前进。

1966 年美国综合电机公司根据赖斯的设想首次制成了电磁推进船的模式船。这个船像一个玩具，行走缓慢而且耗电极高。但是到了 1979 年日本用超导线圈制成了全长 3.6 米重 700 公斤的，电磁船可以以每秒 1 米的速度前进，完全没有振动和噪声。这预示了船用动力的革命。电磁船省去了螺旋桨和发动机，燃料可以节省一半，因此被人誉为“21 世纪的船”。

目前正在制造一艘 150 吨实用的超导电磁船，各项工作正在紧张地进行。

超导给我们带来的益处不仅仅是在运输、发电等方面，在天体物理中利用超导理论的约瑟夫森效应制成的超导磁力仪比普通的最灵敏的磁强计还要灵敏万倍以上。利用它可以检测来自遥远星球的极弱的微波信号。在生物、医学、古地球学、探矿方面超导也有重要应用。

新一代的计算机——约瑟夫森超导计算机也已研制出来，它比普通的半导体器件制成的计算机运算速度快 10—20 倍，更优越的是消耗的能量要小 1

万倍，体积小，集成度高。

约瑟夫森是英国科学家，在 33 岁时因提出约瑟夫森效应获得诺贝尔奖。而发表论文时年仅 22 岁是剑桥大学的一名攻读博士学位的学生，真是有志不在年高。他发表在《物理快报》上的论文很短，只有两页，又没有名气，被一些行家怀疑，但是不到一年的时间，他论文中预言的现象都被实验所证实。

超导理论的研究正在不断地发展，在这个领域里已经有多名科学家获得诺贝尔奖。相信在全世界科学家的共同努力之下，超导必将开辟一个全新的电气时代。

昨天、今天和明天

（结尾的话）

人们常说我们正处于原子时代、太空时代，但是现在我们生活中所享用的大部分是电气时代的成果——各种电器，可以说人们一刻也离不开电。

电所以能得到这样广泛的应用，其原因是由于它有许多无可比拟的优越性：

首先电能能够方便地从各种其它的形式能量转换中获得；水能、热能、原子能、化学能、光能以及风能等都可以变成电能；电能又可以非常容易地转变成其它形式的能量。例如：用电动机转换成机械能，用电炉变成热能，利用电灯变成光能，通过喇叭变成声能等。

电能还可以方便的输送，因此发电站可以建在能源丰富的地方，高压输电，效率极高，无论多么偏远的地方，电能都能到达，如果通过微波，还可以不借助电线，把电能送到太空或其它需要的地方。

由于一切信号都可以转变为电信号，所以利用电可以远距离检测、分析工厂的生产情况，处理故障，达到生产过程高度自动化。

正因为掌握了电，人类才变得无所不至，无所不能。

在人类的历史长河里，经过无数科学家不断的努力，才使电磁学发展到现在的地步。最初电的发展非常缓慢，电开始只是做为一个神秘的现象被少数人所研究，莱顿瓶的作用被发现后，电可以被贮存，电震现象使电变得时髦起来，但是在电没有与磁联系起来以前，仍然只是科学家实验室中的宠物，如果说电磁学中有新大陆，那应该首推奥斯特“电生磁”的伟大发现，从此电和磁从两股道上走到一起来了，电磁学开始了长足的发展。不过也不能说电磁学只有这样一个新大陆，电学上的每一项新的发现，都为技术应用开辟一个无法预料的新天地，都是一个新大陆。

关于电的故事暂时就讲到这里，但是人类对于电的研究一天也没有终止。不过，现在任何一位科学家也不会像法拉第、麦克斯韦那样辉煌，成为科学史上的里程碑。因为现在的电学实验已经变成了极为复杂的工作，非凭借一大批专家的通力合作是不能完成的，要作出新的发现，非使用昂贵而复杂的仪器和设备不可，这些都不是任何一个人所能独立完成的。

明天的电学会发展成什么样子？

这是任何人都很难预料的，但是可以预言的是，无论有什么发展和变化，都不会脱离那些业已被证明了的基本原理和规律。尽管我们家中的电视机、音响或电冰箱会不断地被新式的所代替，但是电磁学的基本规律，再过一万年也不会陈旧，未来——早已写在电磁学的基本规律里。所以说学好电磁学的基本规律，就能把握住未来！