

赫兹和电磁波的发现

张之翔

(北京大学物理系)



Heinrich Hertz (1857—1894)

一百年前¹⁾，德国物理学家赫兹在实验上发现了电磁波。这是物理学史上的一件大事，也是人类文化史上的一件大事，因为它确定了麦克斯韦电磁理论的正确性，开辟了物理学的新领域，也为电磁波的应用打开了大门，导致了无线电通信和电视的出现，极大地丰富了人类的生活。为了纪念这一重大发现的一百周年，我们在这里对赫兹生平和他发现电磁波的经过，作一简单介绍。

一、赫兹生平简介

赫兹 (Hertz, Heinrich Rudolf) 于 1857 年 2 月 22 日生于德国汉堡的一个比较富裕和物理

有文化的家庭里。他六岁上小学，成绩优秀，名列第一。他爱好做实验，十二岁时家里给了他一些木工工具和一张长凳(作为工作台)，后来又给了他一台车床，他用它做出了一些物理仪器。赫兹上中、小学时的各科成绩都很好。1877 年他上慕尼黑大学，学理科。1878 年 10 月，他转到柏林大学，成为基尔霍夫和亥姆霍兹的学生。亥姆霍兹是当时世界上第一流的物理学家，赫兹得到了他的关怀、指导和培养。

那时，麦克斯韦的电磁理论已出世十四年，他的名著《电磁论》(A Treatise on Electricity and Magnetism) 也已出版五年。但是，麦克斯韦的理论并没有得到物理学界的公认，可以说，当时的物理学界还不理解这个理论。另一方面，当时在德国已有两种电磁理论，即韦伯 (W. Weber) 的电动力学和诺伊曼 (F. E. Neumann) 的电动力学。这两种理论之间虽然有些不同，但都属于超距作用理论。亥姆霍兹认识到，需要用实验来检验这些理论。1879 年夏，亥姆霍兹为该校哲学系出了一道有奖的物理竞赛题，要求用实验解决沿导线流动的电荷是否有惯性(韦伯的电动力学认为有惯性)。赫兹参加了竞赛，亥姆霍兹专门为他在物理研究所腾出一个房间，并亲自指导他查阅有关这个问题的文献，每天都来看他的进展。赫兹的实验结果是没有观察到这种惯性，他在竞赛中获胜了，得到了金质奖章。不久，亥姆霍兹又为柏林科学院出题悬赏，题目是《用实验确定电磁力与绝缘体介质极化之间的任何关系》，想进一步用实验检验麦克斯韦的理论。他建议赫兹去解

1) 此文于 1988 年投本刊——编者注。

决这个问题。然而，赫兹经过计算感到，利用当时的实验设备，无法产生为解决这个问题所需要的快速电振荡，他一时又想不出别的办法，所以就未去应试。但是，这个问题却像一粒种子，埋藏在赫兹的心里。

赫兹于1880年在柏林大学获得博士学位，以后便在亥姆霍兹手下做了近三年的实验研究工作，共发表了十多篇论文，主要是电磁学方面的。1883年，赫兹到基尔(Kiel)大学当讲师，讲授数学物理。同时，他也深入研究了麦克斯韦的电磁理论，并发表了有关论文。

1885年，赫兹到卡尔斯鲁厄高等工业学校(Karlsruhe Technische Hochschule)任物理学教授。该校有一个设备很好的物理研究所，他在那里工作了四年，著名的电磁波实验就是在这期间作出的。他关于电磁波的一系列实验发表后，很快就赢得了世界性的荣誉，当时欧洲各国的科学院和著名学会，纷纷授与他奖章，聘请他为会员。

1889年，赫兹应聘到波恩大学任教，接替克劳修斯的职位。在波恩，除授课外，他继续研究麦克斯韦的电磁理论，探究这个理论的实质和它的确切表述。他在1890年发表的两篇文章，在阐明麦克斯韦的电磁理论方面起了重要作用。赫兹患牙痛病多年，拔掉全部牙齿后做过多次手术，于1894年元旦因血中毒而去世，当时他还不满三十七岁。

赫兹是一位不可多得的兼有理论才能和实验才能的物理学家，除了在实验上发现电磁波和在理论上阐发麦克斯韦的电磁理论外，他对物理学的贡献还有光电效应的发现和力学基本原理方面的工作(最小曲率原理)。

二、电磁波地发现

1. 历史渊源

人类在一百年前发现电磁波不是偶然的，而是有其历史背景的。

1831年8月29日，法拉第发现了电磁感应现象，经过几个月的大量实验研究，他提出了

磁力线的概念，并用来总结出电磁感应定律。

1853年，汤姆孙(开尔文)把能量守恒和转化定律用于莱顿瓶放电，他得出，放电应是振荡的，振荡周期为

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

在1857—1866年间，菲德森(W. Feddersen)发表了一系列文章，报告他用高速转镜法观察到莱顿瓶放电的火花确实是由一系列火花构成的。

1854年起，麦克斯韦开始研究电磁学。他抓住法拉第关于力线的概念，深入研究，用数学语言把它们表达出来，使之成为电磁场的理论。1864年12月8日，他在英国皇家学会宣读了总结性论文《电磁场的动力学理论》，总结了他十年间的研究成果，奠定了电磁理论的基础。在文中，麦克斯韦由他的方程组出发，导出了电磁场的波动方程，算出了电磁波的传播速度，与当时已知的光速很接近，他从而得出结论：“光是按照电磁定律经过场传播的电磁扰动。”

麦克斯韦虽然在理论上论证了电磁波的存在，但是并未提出过产生电磁波的任何方法。1883年，斐兹杰惹(G. F. Fitzgerald)由麦克斯韦理论得出用纯电的方法产生电磁波的看法。他指出，载有高频交流电的线圈应当向周围空间辐射出电磁波，莱顿瓶放电就可以产生这种高频交流电。不过，他却并没有做过这方面的实验。在实验上发现电磁波，完全是赫兹的功绩。

2. 希望的火花

1886年春，赫兹在卡尔斯鲁厄作课堂演示时，看到一个有趣的现象。当他用电池或莱顿瓶通过一对里斯(Riess)线圈，其中的一个放电时，很容易在另一个线圈里产生火花。有一次，他将一根铜线弯成长方形，铜线两端之间有一个很小的间隙，构成一个开路(他称之为副电路，Nebenkreis)，然后用一条导线把这副电路连接到正在由感应圈激发而作火花放电的回路上[图1(a)]，这时他看到副电路的间隙中也有

火花出现。研究这副电路中的火花（他称之为副火花），就成为他发现电磁波的起点。

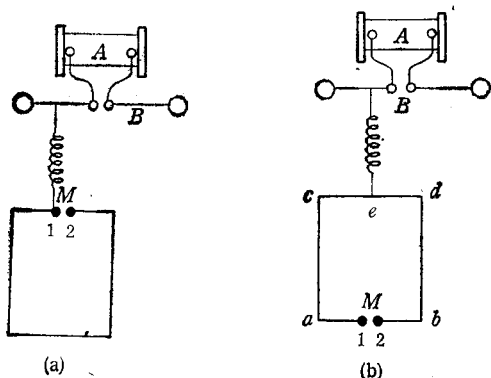


图 1

赫兹发现，连接到副电路上的导线连接点的位置对副火花的长度有影响。当这位置在副电路上的中点[图 1(b) 中的 e 点]时，就不出现副火花，他把这位置叫做中性点 (Nullpunkt)。如果将导线的另一端接在放电回路上，则这个连接点的位置对副火花却没有什影响，甚至副电路不连接到放电回路上(图 2)，也有火花出现。赫兹了解汤姆孙(开尔文)、菲德森以及别人关于电磁振荡的工作，所以他理解到这是电

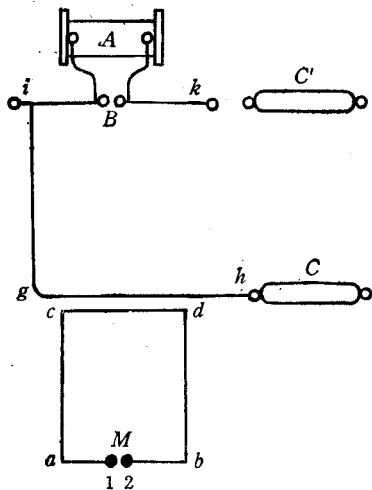


图 2

磁振荡的谐振现象。他用了近一年的时间(从 1886 年春到 1887 年初)研究这些现象, 所得到

的结果发表在《关于很快的电振荡》(1887 年)一文中。

为了发出最有效的火花，赫兹在放电回路上产生火花的部分使用了不同大小和形状的导体，最后用的是“赫兹振子”(这是后人为纪念赫兹而取的名称)：两根黄铜棒放在同一直线上，相向的两端作成球形，两球间形成间隙，这就是放电的火花隙。为了研究放电回路的火花在其周围空间产生的电磁作用，他把副电路改成圆形，根据这圆形副电路中的副火花长度，得到了赫兹振子周围电场的分布图(图 3，图中的圆表示副电路的位置， mn 是副电路的投影，小箭头代表电场的方向)。这一实验结果发表在《关于线性电振动对其周围电路的作用》一文中。在这篇文章中，赫兹说，“整个教室似乎充满了电力的振荡。”¹⁾他认为，建立在超距作用上的理论没有一个能解释他所观察到的现象，但是如果接受电力以有限速度传播的观点，现象便很容易得到解释。

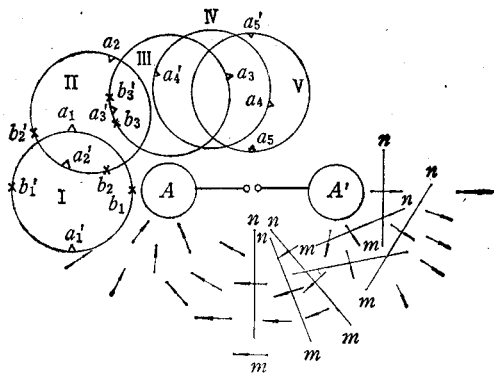


图 3

由于能够产生很快的电振荡，赫兹意识到他可以解决一直藏在他心里的问题——1879 年柏林科学院的悬赏题。他的实验如图 4 所示：把副电路(图中圆环)尽可能靠近放电回路，并调整到不出现副火花的位置上。这时副电路处在一种“感应平衡”状态。当把一块导体 C 移近时，平衡便遭到破坏，副电路中出现火花；当把

1) 赫兹的这个实验是在 14m 长、12m 宽的教室里做的，他所说的“电力”就是我们今天所说的电场强度。

导体C拿开时,副电路中的火花便消失。然后,他拿一块绝缘体代替导体放入,这时副电路中又出现火花。赫兹依次用沥青、纸、干木头、沙

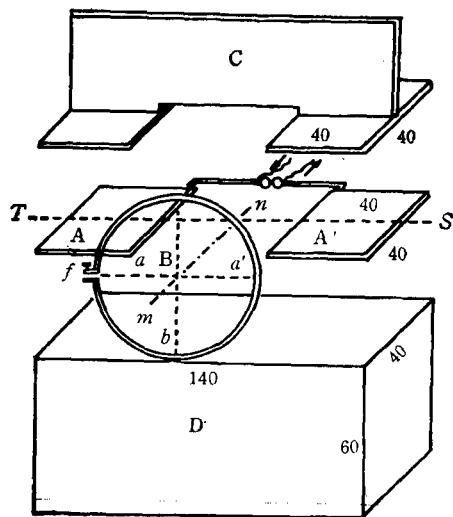


图 4

石、硫磺、石蜡和橡皮槽盛的汽油等做实验,都在副电路中观察到了火花。这样,他就用实验确定了电磁力与绝缘体介质极化之间确有关系。他在1887年11月10日发表的文章《关于电扰动在绝缘体中产生的电磁效应》中叙述了他所做的实验及其结果。所以他说:“在1887年11月10日,我便能够报告我成功地解决了柏林科学院的问题。”

3. 电磁波的发现

为了让读者了解赫兹是如何进一步发现电磁波的,我们来看看他自己的叙述。赫兹在他的《电波》一书的《序言》中写道:

“柏林科学院的特别题目一直是我的向导。这个题目显然是那时亥姆霍兹先生出的,它包括下述内容:如果我们从1879年已得到普遍承认的电磁定律出发,并作某些进一步的假定,我们便能到达麦克斯韦理论的方程组,这个方程组当时(在德国)决不是普遍承认的。这些假定是:第一,非导体内电极化的变化产生的电磁力与等效的电流产生的电磁力相同;第二,电磁力和静电力一样都能产生电介质极化;第三,空气和真空在所有这些方面的行为都与其他电

介质相同。亥姆霍兹在他的文章《论静止导体的电的运动方程组》的后一部分,曾用较老的观点和与上述三个假定等效的一些假定导出了麦克斯韦方程组。证明所有三个假定,因而也就是确定麦克斯韦理论的全部正确性,似乎是不合理的要求。因此,柏林科学院就只满足于要求证实前两个假定中的一个。

第一个假定现在已被证明是正确的了。我考虑了一段时间决定进攻第二个假定。要证明它,并不是不可能的。为此,我去掉了闭合环中的石蜡。但是当我在工作时,我发觉新理论的核心并不在于前两个假定的结果。如果对于任何给定的绝缘体证明了这些都是正确的,则可得出,麦克斯韦所预期的那种波能在这种绝缘体中传播,其速度是有限度的,也许与光速差别较大。我感到第三个假定包含了法拉第的(因而是麦克斯韦的)观点的要点和特别意义,所以就是更加值得我追求的目标……”

而后赫兹就进一步研究电磁作用在空气中的传播速度。他先作的是由直导线上传播的波和由空气中传播的波的干涉实验。实验结果发表在1888年2月的柏林科学院院报上,题目是《关于电磁作用传播的有限速度》。他在这篇文章中说,“实验得出的结果表明,感应作用毫无疑问是以有限速度传播的,这速度比电波在导线中的传播速度快,与光速同一数量级。”

赫兹接着做反射实验。他把4m长、2m高的锌板固定在墙上做反射镜,用副电路中的火花探测由反射产生的驻波。在1888年发表的《关于空气中的电磁波及其反射》一文中,对这实验有详细的叙述。他在文章中说,这个实验所显示出的一些现象“以可以看见的和几乎确实的形式显示出感应以波动通过空气传播。这些新的现象还使我们能够测量空气中的波长。”他根据驻波波节之间的距离,测得波长为9.6m。这个实验是在1888年3月完成的。到这个时候,赫兹由实验总结出,电磁感应作用是以波动的形式在空气中传播的,所以他第一次使用了“电磁波”一词。

1888年暑期,赫兹研究了电磁波在两导线

间、两平板间和管状空间的传播问题。

4. 电磁波的性质

1888年秋,赫兹改进仪器,掌握了较短波长(约66cm)的电磁波的发射和接收方法,并且作了一系列研究电磁波性质的实验。实验及其结果发表在1888年12月的柏林科学院院报上,题目是《关于电辐射》。

赫兹所创造的发射和接收电磁波的仪器是:把2m长2m宽的锌片作成抛物柱面反射镜,焦距为12.5cm,口径为1.2m。发射电磁波的赫兹振子固定在焦线上,电池和感应圈都放在后面,引线穿过抛物镜,接到赫兹振子上[参看图5(a)]。他在另一个相同的抛物柱面反射镜的焦线上,安装两根导体棒作为接收器,两棒相向的一端相隔一段距离。这两端分别由两根引线穿过抛物镜接到后面的火花隙上,以便实验者在镜后面观测[参看图5(b)]。

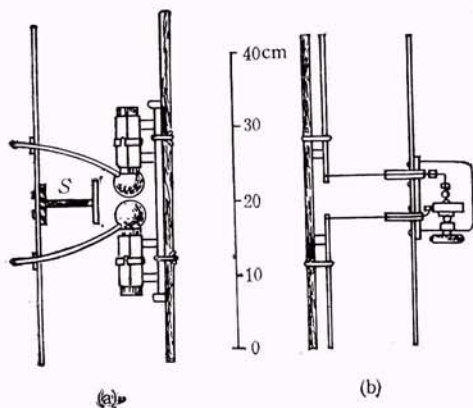


图 5

赫兹为研究电磁波的具体性质做了四个方面的实验。

(1) 直线进行

两抛物镜(一个发射,一个接收)相向放着,距离在6—10m范围内。把2m高、1m宽的锌片放在两镜间并与射线垂直,副火花(接收器中的火花)便完全消失。用锡箔或金纸代替锌片时,也产生同样影响。人穿过射线挡住射线时,副火花便消失,离开射线时,副火花又出现。绝缘体挡住射线时,副火花照样出现,射线能穿透木屏或门。他把2m高、1m宽的两块导体屏对

称地放在射线两边并与之垂直。当两屏间的距离大于1.2m(抛物镜的口径)时,副火花不受影响;小于1.2m时,副火花减弱;小于0.5m时,副火花消失。

(2) 偏振

两抛物镜相向放着,当两焦线平行时,副火花最强。以射线为轴,转动接收镜,副火花变弱;当转到两焦线垂直时,副火花消失。在2m高、2m宽的框子上,平行地装上1mm粗的铜线,导线之间的间距为3cm,构成一个金属栅。把这栅放在相向的两抛物镜(焦线平行)中间,栅面与射线垂直。金属栅上的铜线若与焦线垂直,则副火花不受影响;若与焦线平行,则副火花消失。如果使两抛物镜的焦线垂直,再放入金属栅,则栅上的铜线与任何一个焦线平行时,都观察不到副火花;与两焦线都成 45° 角时,副火花又出现。

(3) 反射

让射线射到2m高、2m宽的锌板上,在反射角等于入射角的方向上,令接收镜向着反射线,便可观察到火花。这时,绕竖直轴(两抛物镜焦线都在竖直方向)转动锌板,无论往哪边转 15° 角,副火花便消失了。赫兹还把一个房间里发出的射线反射到另一个房间里,做了同样实验。当把金属屏放在射线路径上的任何地方时,便观察不到副火花;若放在其他任何地方,则对副火花无影响。

(4) 折射

用硬沥青做成等腰三角形的三棱体,顶角为 30° ,底边长1.2m。这三棱体高1.5m,重600kg多。令射线以 25° 的入射角射到三棱体的侧面上,用导体屏挡住不经过三棱体的其他射线。当接收镜放在三棱体的另一边入射线的延长线上时,观察不到副火花;把接收镜移向底边,在偏向角约 11° 处,开始出现副火花;偏向角为 22° 时,副火花最强;偏向角再增大,则副火花又减弱,超过 34° 便没有副火花。赫兹由此算出,该沥青对电磁波的折射率约为1.69。沥青类物质对光的折射率在1.5至1.6之间。赫兹把这个差别解释为这种测量方法不够准确和所

用沥青不纯所致。

赫兹总结这些实验说：“对我来说，无论如何，上述实验明显地适于消除对于光、辐射热和电磁波运动的同一性的任何怀疑。这种同一性能使我们在光学和电学两者的研究中得到益处，我相信，从今以后，我们将有更大的信心来利用这种益处。”

总之，赫兹在一百年前的1888年（我国清代光绪十四年），以一系列的实验令人信服地证明了电磁波的存在和电磁波与光的同一性。他说：“这些实验的目的是检验法拉第-麦克斯韦理论的基本假说，实验的结果是证实了理论的基本假说。”所以在他的实验发表以后，麦克斯

韦的电磁理论就被物理学界所接受，成为经典物理学的重要基础之一。关于麦克斯韦理论是什么，赫兹在经过深入研究后得出的回答是：“麦克斯韦理论就是麦克斯韦方程组。”另一方面，赫兹在实验研究中所创造的电磁波的发射器和接收器，成了后来无线电和雷达的发射器和接收器的始祖。赫兹的功绩是不朽的。

- [1] C. C. Gillispie, Dictionary of Scientific Biography, Charles Scribner's Sons, New York, vol. 6, (1981), 340—349.
[2] H. Hertz, Electric Waves, Trans. D. E. Jones, Macmillan and Co., London, (1900).

评 荐《液 晶 物 理 学》

林 磊

（美国圣何塞州立大学物理系）

液晶是物质的一种状态，介于液体与晶体之间，具有流动性和各向异性。自1888年发现以来，已有一百年历史。近二十年来，液晶在工业上应用很广，主要是在显示器和高强度高分子材料两方面。由于性质特异，它在凝聚态研究和几个物理前沿课题方面都有独特的地位。

液晶物理的专书主要有两本。一本是 P. G. de Gennes 在1974年出版的《液晶物理学》，另一本是 S. Chandrasekhar 在1976年出版的《液晶》。前者物理内容丰富，已成为这个领域的经典书；后者推导较详，另有特色。这两本书的出版都已超过十年以上。在这十多年内，液晶发展很快，譬如重入现象、铁电相液晶、近晶相A型的各种新相、非线性波和孤子的研究、缺陷理论、蓝相、盘型和碗型分子液晶的相继发现等等，都没能在这两本书中列入。据了解，上述这两本书都在增写中，但还没有完成。1988年出版，由 G. Vertogen 和 W. H. de Jeu 所写的《热致液晶》一书，并没能超出上述两书的范围。

液晶的中文书方面，谢毓章教授编著的《液

晶物理学》（科学出版社，1988）是真正介绍液晶物理的第一本书，以前各种液晶方面的中文书都只是翻译书，也都已过时。这本书在内容方面比较接近 Chandrasekhar 的书，但就所包括的内容方面，却比所有液晶的书都来得详尽。方程的推导和论证都很详细，是这本书与其他书不同的地方。

可能由于出版时间周期太长，或其它原因，上面提到近十年来液晶的新发展，除了盘形分子液晶之外，都没能列入此书。由于排版上的困难，一些较新的发展（如碗形分子液晶、向列相电流体动力不稳定性），只能在文献中增列（见第十二章，文献[85]，和第八章，文献[47]），在正文中都没有讨论。对初入门的读者，应该指出本书所用的一些名词译名，与一般期刊或专书上所用的有所不同（见书中第一章第二节）。

简言之，除了内容上的局限外，对于准备认真了解液晶物理的学生和专业人员，谢毓章教授的《液晶物理学》一书是必不可少的一本书。