

# 赫兹，他证实了电磁波的存在

陈关荣

(香港城市大学)

“赫兹”（Hertz，简写为 Hz，简称为“赫”）是物理上频率（frequency）的量度单位，表示每秒钟发生周期波动的次数：1 赫兹 = 每秒中周期波动一次。赫兹这个频率单位以德国物理学家海因里希·赫兹（Heinrich Rudolf Hertz，1857 年 2 月 22 日—1894 年 1 月 1 日）来命名。这一命名于 1930 年由国际电工委员会（International Electrotechnical Commission）提出，在 1960 年获得国际度量衡大会（General Conference on Weights and Measures）批准通过，取代了以往“每秒周数”（cycles per second）的称谓，成为频率的国际标准单位。

从基本单位 1 赫兹开始向高频端延伸，常用的高阶单位依次有 1 千赫（KHz， $10^3$  Hz）、1 兆赫（MHz， $10^6$  Hz）、1 吉赫（GHz， $10^9$  Hz）、1 太赫（THz， $10^{12}$  Hz）、1 帕赫（PHz， $10^{15}$  Hz）、1 艾赫（EHZ， $10^{18}$  Hz）、1 泽赫（ZHHz， $10^{21}$  Hz），等等。目前的无线电频率多以千赫（KHz）和兆赫（MHz）来计量。一般在电话通信中话音的频率范围是 300–3400Hz，而我国目前使用的调频（FM）无线电广播频率范围是 88–108MHz、手机的频率范围是 824–849MHz、全球定位系统的频率范围是 1227MHz 和 1575MHz，等等。此外，赫兹还用于描述各种各样的电磁波、机械波、引力波、物质波，在与周期振荡和转动相关的工程技术中被广泛使用。



图 1 赫兹和他的签名

## 【一】

赫兹于 1857 年 2 月 22 日出生在德国汉堡的一个路德会 (Lutheran) 犹太家庭。父亲古斯塔夫·赫兹 (Gustav F. Hertz, 1827–1914) 是汉堡一名律师和议员，母亲安娜·普费弗科恩 (Anna E. Pfefferkorn, 1835–1910) 是一位医生的女儿。在家中，赫兹有三个弟弟和一个小妹妹。

赫兹 6 岁进入一间私立学校，在那里读了十年书。他表现出良好的科学和语言天赋，还学习过阿拉伯文和梵文。1875 年，18 岁的赫兹通过了德国大学统一入门考试 (Abitur examinations)，到了法兰克福开始学习建筑工程。翌年，他转到 Dresden 理工学院，后来又到了柏林，在那里服役了一年。之后，他来到慕尼黑技术学院继续修读工程学，其间读了物理、生物和天文等课程。1877 年，他进入慕尼黑大学，修读了一年数学。他在老师的建议下学习了拉格朗日、拉普拉斯和泊桑的一些数学著作。一年后，他转回到柏林，进入了柏林大学哲学 (自然科学) 系。在那里，他师从古斯塔夫·基尔霍夫 (Gustav R. Kirchhoff, 1824–1887) 和赫尔曼·冯·亥姆霍兹 (Hermann von Helmholtz, 1821–1894)。在学期间，他以题为“运动中电之动能” (Kinetic energy of electricity in motion) 的论文获得了学校颁发的研究奖励和一枚金质奖章，该文随即正式发表。1880 年，他以毕业论文“旋转球的感应” (Induction in rotating spheres) 获得博士学位，并被评为荣誉优等生 (summa cum laude)。之后，赫兹继续跟随冯·亥姆霍兹做博士后研究，直到 1883 年收到来自 Kiel 大学任职理论物理学讲师的邀请。

受冯·亥姆霍兹鼓励，赫兹从当博士后开始便研究詹姆斯·麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831–1879) 的电磁理论。麦克斯韦的原始理论是基于光“以太”的机械思想建立的，当年并没有被普遍接受。赫兹在日记本上写道：“从一开始，麦克斯韦的理论就是最优雅的……可是麦克斯韦理论的基本假设与通常的观点相矛盾，并且没有得到决定性实验证据的支持。”

1884 年，赫兹发表论文“论麦克斯韦关于相向电磁基本方程之间的关系” (On the relations between Maxwell's fundamental equations of the opposing electromagnetics)，发展了一套电磁力的自由传播理论，为他后来修改麦克斯韦方程组的表达形式作了铺垫。

1885 年，28 岁的赫兹转到了西南地区的 Karlsruhe 技术学院出任物理系教授。在那里，他装配了自己的电磁学实验室，并且在上课时做各种示范性的实验。他要求学生们好好做实验，说：“我不相信一个人只从理论出发就可以知道实际情况。”

技术学院里教三角学的马克思·多尔 (Max Doll) 博士十分赞赏赫兹，并把女儿伊丽莎白 (Elisabeth Doll, 1864–1941) 介绍给他相识。伊丽莎白后来回忆说：“赫兹在星光下有一种近乎骄傲的自信。他自认为是世界上唯一了解星光是什么的人。在他看来，满天的星光来自不同的发光体，它们有规律地发出不同频率的电磁波来到地球上……在他的解说中，星光不只是美丽，而且很有规则并且十分准确。”虽然伊丽莎白不懂什么是电磁波，但是她爱上了这位潜心寻求科学真谛的绅士。相识四个月，到了 1886 年，两人便结婚了。后来，夫妇俩养育有两个女儿，Johanna 和 Mathilde。



图2 赫兹、伊丽莎白和他们的两个女儿

接下来的几年里，在物理学界激动人心的发展进程中出现了一段重要而有趣的插曲。1887年，美国 Case Western Reserve 大学的物理学家阿尔伯特·迈克尔逊（Albert A. Michelson, 1852–1931）在爱德华·莫利（Edward W. Morley, 1838–1923）的协助下完成了一项非常巧妙的实验，证明了麦克斯韦那极具影响的电磁理论赖以成立的光“以太”并不存在。这位迈克尔逊后来在1907年获得了美国历史上第一个诺贝尔物理学奖。迈克尔逊-莫利的反证实验公布之后，几乎所有的物理学家都开始怀疑依赖于并不存在的光“以太”概念的麦克斯韦电动力学理论从根本上危及了相对性原理，直到1915年爱因斯坦建立了崭新的弯曲时空观才挽救了相对论。爱因斯坦曾经回忆说：“如果当年迈克尔逊-莫利实验没有让大家陷入极度尴尬的局面的话，便没有人会对相对论作出（半途的）挽救。”不过，作为后话，爱因斯坦在建立了描述弯曲时空重力场的方程式之后，依然为“以太”打了个圆场：“根据广义相对论，真空具有物理特性；在此观点下，以太还是存在的。”

1887–1888年间，赫兹在 Karlsruhe 技术学院进行了一系列成功的物理实验。他使用了今天称为“赫兹偶极子”（Hertzian dipole）的天线。该装置由两根约一米长的导线组成，内侧有一个火花隙，外端接有锌球作为电容器。天线由施加在一个 Ruhmkorff 线圈两头大约三万伏的高压脉冲激发而发射电磁波。他用另一个两端之间有微米火花隙的谐振单环天线来接收电磁波。赫兹的实验证明了电磁波是通过空气传播的。他的实验表明，这些电磁波像光一样可以被导体反射并可被凹面反射器聚焦。他还发现，非导体也允许大部分电磁波通过。赫兹同时证实了电磁波在直线传播时的速度与光速相同，并将这些成果总结在“论运动传播速度的电效应”（On the electric effect of the propagation velocity of moving）一文中。



图3 赫兹的实验装置（仿制品）

1887年11月，赫兹在寄给冯·亥姆霍兹的一篇题为“论绝缘体中电扰动产生的电磁效应”（On electromagnetic effects produced by electrical disturbances in insulators）论文中总结了这些重要发现：无线电辐射具有波的所有特性。赫兹实验产生的这些电磁波，最初称为“赫兹波”，现在称为无线电波，证实了麦克斯韦关于电磁波存在的预言。

当年，赫兹的系列实验给学生们留下了非常深刻的印象。学生们好奇，这种神秘的电磁波有什么用呢？赫兹回应说：“我不认为我发现的无线电波会有什么实际应用。”他说，“这只是一个证明麦克斯韦是正确的实验——我们确实有这些眼睛看不见的神秘电磁波——它们就在那里。”学生们不甘心，仍然追着问：“那么，接下来呢？”赫兹耸耸肩膀，说“接下来就没什么了，我猜。”当然，赫兹为人谦虚，但事实上他的确没有意识到无线电波后来会有许多让世界腾飞的应用。

后人查实，英裔美籍发明家大卫·休斯（David E. Hughes, 1831–1900）在1879年就已经能够产生电磁波并实现了无线传输达500码距离，不过他完全不明白那是怎么回事。历史上第一个正确验证并解释了电磁波物理特性的人是赫兹。

1888年，赫兹发表了著名论文“关于静止物体的电磁学基本方程组”（On the fundamental equations of electromagnetics for bodies at rest），进一步完善了麦克斯韦方程组，把它加工成现代数学的表达形式并且删弃了“以太”假设。为此，爱因斯坦把该方程组称为“麦克斯韦-赫兹方程组”；英国数学和物理学家奥利弗·海维赛德（Oliver Heaviside, 1850–1925）甚至直接称之为“赫兹方程组”。

1888年12月，赫兹向柏林科学院作了题为“论电辐射”的报告。他以详实的实验结果全面地论证了电磁波和光波的同源性：“我认为这些实验有力地排除了对光、辐射热和电磁波之间的同源性的任何怀疑。”1889年9月，赫兹又在海德堡的德国自然科学和医学促进会上做了个报告，再次向科学家们论证光是电磁波。他在演讲中说：“我们在成千个以前没有证据表明它存在的地方感知到电磁波。在每一个火焰中，在每一个发光的粒子中，我们都看到了一个电过程。即使物体不发光，只要它散发热量，它就是电扰动的中心。因此，电的领域延伸到了整个自然界。”

当年，赫兹完全没有意识到他的成就很快就被科学家们视为“新电气时代的开始”。1891年，海维赛德说：“三年前，电磁波无处存在；现在，它们无处不在。”

后来，赫兹在一本电气杂志上写了一篇科普，描述了如何用振荡器激发电磁波。1895年，意大利人古列尔莫·马可尼（Guglielmo Marconi, 1874–1937）在阿尔卑斯山度假时偶然读到了这篇文章。这位21岁的年轻人脑海里灵光一闪：为什么不使用赫兹的火花振荡器产生的电磁波来发射信号呢？次年，马可尼首次演示了以电磁波传递信息的实验。1901年，马可尼又成功地将电信号送到大西洋彼岸的美国。1909年，35岁的马可尼和电视机发明家费迪南德·布劳恩（Karl F. Braun, 1850–1918）一起因“对无线电报发展的贡献”获得了诺贝尔物理学奖。值得庆贺的是，世界从此有了无线电通讯。

那几年是赫兹的高光时期。他还研究了紫外光对火花放电的影响并进行了一系列的实验，从而发现了光电效应，即在光的照射下带电金属会释放出电子的现象。三十多年后，爱因斯坦因成功解释了赫兹发现的光电效应而获得1921年诺贝尔物理学奖。赫兹光电效应这一重要发现，成为了爱因斯坦后来建立光量子理论的基础。



多年之后，纽约大学原物理系主任、核物理学家和科学教育家莫里斯·沙莫斯（Morris H. Shamos, 1917–2002）出版了一部名著《伟大的物理学实验：从伽利略到爱因斯坦的第一手资料》（Great Experiments in Physics: First-hand Accounts from Galileo to Einstein）。书中，他回顾了历史上从伽利略到爱因斯坦的许多物理学家及其实验贡献，认为最伟大的物理实验家是赫兹，说赫兹以实验破解了人类的千古谜团——证明了光的本质是电磁波。

## 【二】

1889年4月3日，赫兹来到了波恩大学，接替著名数学和物理学家鲁道夫·克劳修斯（Rudolf J. E. Clausius, 1822–1888）的位置，任职物理学教授兼物理研究所所长。赫兹在该职位工作至离世。在波恩大学，赫兹除了研究一些稀薄气体中的放电问题之外，他放弃了几乎全部的电磁实验工作，致力于接触力学的研究。这一转变的主要原因是，和十九世纪大多数物理学家一样，赫兹在信念上坚定地认为物理学的最终目标是将所有可观察到的物理现象还原为力学。

接触力学是研究相互接触物体之间如何变形的一门理论力学学科。赫兹早在1882年就发表过一篇接触力学方面的论文“关于弹性固体的接触”（On the contact of elastic solids），研究外力如何导致材料的光学性质的改变。赫兹在论文中建立的方程是研究材料疲劳、摩擦以及接触体之间相互作用的一个基本方程。赫兹还描述了后来被称为“赫兹锥”的一种断裂模式，它存在于固体内部由应力波传输引起的脆性之中。

从赫兹开创性工作开始并由其他人完善的这门接触力学理论，是涉及接触体的各种科学和工程研究不可或缺的工具之一。赫兹的研究成果综合在《以新形式表达的力学原理》（The Principles of Mechanics: Presented in a New Form）一书中，该书在他去世后于1894年正式出版。

## 【三】

1892年，赫兹因经常性偏头疼被诊断出患上了免疫系统疾病导致的血管炎症。1894年1月1日，赫兹在波恩病世，享年37岁。他被安葬在家乡汉堡的Ohlsdorf犹太墓地。



图4 赫兹墓地和纪念像

赫兹去世后，妻子伊丽莎白终生没有改嫁。二战期间，犹太人伊丽莎白带着两个女儿移民英国。后来，两个女儿也都没有结婚，因此他家没有后裔。伊丽莎白于 1941 年 12 月 28 日在剑桥西北部的小乡村 Girton 逝世，享年 77 岁。

赫兹的所有科学论文由丹尼尔·琼斯（Daniel E. Jones, 1860–1941）翻译成英文并分三卷出版：《Electric Waves》（1893）、《Miscellaneous Papers》（1896）和上面提到的力学原理一书的修订版《Principles of Mechanics》（1899）。作为开场白，开尔文勋爵（Lord Kelvin, 1824–1907）、1905 年诺贝尔物理学奖得主菲利普·莱纳德（Philipp E. A. Lenard, 1862–1947）和冯·亥姆霍兹分别为之写了介绍性的导言。



图 5 赫兹的著作

德国汉堡授予赫兹荣誉市民称号并以他的名字命名了位于 Rentzelstraße 的 270 米高的电视塔（Heinrich-Hertz-Turm）。

1928 年，Fraunhofer Society 出资在柏林成立了赫兹振荡研究所，今天称为赫兹研究所（Heinrich Hertz Institute）。

1961 年，月亮表面的第 200 号陨石坑被命名为赫兹环形山。

1987 年，IEEE Region 8（德国）设立了赫兹奖章，以“表彰在电磁波领域作出杰出贡献的个人”。该奖项后来由 IEEE 通信学会继承并延续至今。

1992 年，美国亚利桑那州 Graham 山上修建的的亚毫米射电望远镜以赫兹命名。

还有，赫兹的肖像先后出现在好几个国家的邮票上。



图 6 赫兹纪念邮票