

近代物理讲座

第一讲 几个著名的物理实验 (I)

张之翔

(北京大学物理系)

编者按：从近年来的研究生招生考试情况看，我国的物理系毕业生知识面较窄，思路不够开阔。为此，北京大学物理系从去年起，为物理系和相近的其他专业高年级学生设置了《近代物理讲座》，作为一门选修课。此课受到广大学生的欢迎，选课学生达480余人，此外尚有旁听的学生和青年教师约二百人。本刊将从本期起陆续连载他们的讲课内容，以飨读者。

物理学是以实验为基础建立起来的，历史上有些重要的物理实验，不仅是物理学的基石，也是今天人类文化的重要基础。这些实验产生的历史背景和它们所揭示的自然规律是很有启发性的。可惜一般物理学教科书上写的都很少。在这里，我们选几个著名的物理实验作一些介绍。它们是：

- 一、法拉第和电磁感应实验；
- 二、赫兹实验；
- 三、迈克耳逊-莫雷实验；
- 四、密立根实验；
- 五、卢瑟福实验。

一、法拉第和电磁感应实验^[1-3]

电磁感应定律是电磁现象的一条根本定律，它既是电力工业的基础，又是电磁理论的基础，很重要。但在一般电磁学书上，多半是就事论事，对于电动势、磁通量及其变化率、导体切

物理

割磁力线等等都讲得比较清楚，而对于法拉第当年是怎样发现这个重要定律的，却讲得很少，甚至不提。我们在这里想就这方面作一简单介绍，以补教科书上的不足。

1. 法拉第生平简介

法拉第 (M. Faraday, 1791—1867) 出身于英国一个贫寒的铁匠家庭，小时候难得温饱，更没有机会上学。十三岁当僮工，替人送报刊，不久又成为装订书籍的工人，他的知识就是从所装订的书籍中自学来的。他特别喜欢读《化学问答》和《大英百科全书》中关于电学的部分，并省吃俭用，买点仪器自己做化学实验和电学实验。除了自学外，法拉第所受的唯一科学教育，就是在1812年冬听了塔特姆 (Tatum) 关于自然哲学的十二次演讲和戴维爵士 (Sir H. Davy) 关于化学的四次演讲。一方面因为生活困难，另一方面也由于向往科学，他把听戴维演讲时作的笔记整理抄好，装订成册，送给戴维，请求戴维帮他在皇家研究院 (Royal Institution) 安排一个工作。戴维是当时英国很有名的科学家，在化学方面作出过不少贡献，是皇家研究院的主任。戴维看了法拉第的信和笔记，欣然同意。于是在1813年3月，法拉第就成为戴维的助手，帮助戴维做实验。同年10月，戴维带着法拉第到欧洲大陆各处讲学，历时一年多，使法拉第大开眼界。1815年春回到英国后，在戴维的指导和鼓励下，法拉第专心致志地工作和学习，很快成长起来，能独立地在科学前线做研究工作。开始是研究化学。从1816年到1819年，他就发表了三十七篇论文。大约在1820年，他

开始研究电磁学。法拉第在实验室工作了近五十年,在电磁学、光学和化学等领域里都作出了不少重要的贡献。从1820年起,到1862年退休为止,他对所从事的实验研究工作,都有详细的记录。这些记录,他遗赠给皇家研究院,经后人整理出来,分七大卷,共三千多页。这就是有名的《法拉第日记》(Faraday's Diary)。他在实验上的重要发现,都可以在其中找到。

2. 电磁感应的发现

(1) 历史背景

(i) 1785年,法国科学家库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)用扭秤实验发现电荷之间相互作用的库仑定律,这是电磁学定量研究的开始。

(ii) 1800年,意大利物理学家伏打(C. A. Volta, 1745—1827)发明伏打堆,也就是电池,为以后电磁学的研究和发展提供了物质基础。

(iii) 1819年末,丹麦物理学家奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)发现电流的磁效应,这是电磁学发展史上的一件大事。他于1820年7月宣布他的发现,9月消息传到巴黎,引起法国科学院的轰动,一些法国优秀科学家立即作实验研究,不久安培(A. Ampère, 1775—1836)就发现载流导线之间的相互作用力,毕奥(J. B. Biot, 1774—1862)和萨伐尔(F. Savart, 1791—1841)发现了电流产生磁场的毕奥-萨伐尔定律。

(iv) 1821年5月21日,法拉第日记中开始有作电学实验的记录。这已是奥斯特发现后一年半,消息传到巴黎后八个多月的事。

(2) 失败的实验记录

奥斯特发现电流的磁效应,给法拉第很大启发。他感到,既然电能产生磁,反过来,磁也应该能产生电。他就是本着这种信念从事实验研究的。甚至在电磁感应发现之前六年,他就在日记中使用“感应”(induction)这个词了,可见他对于电磁感应的存在是坚信不疑的。但是,如何从实验中发现这种感应,却非易事,他断断续续地研究了将近十年。从他的日记中我们看到,明确记载的失败就有三次(1824年12月28

日;1825年11月28日和1828年4月22日),每次失败,他都写上“没有效果”(no effect)。

(3) 1831年(道光11年)的成功

1831年8月29日,法拉第在他的日记中写了十九条记录,我们把其中头三条译出如下:

“1. 由磁产生电的实验等等。”

“2. 作好了铁环(软铁,圆形的),7/8英寸粗,环的外直径为6英寸。用铜线在环的一半上绕好几个线圈,这些线圈都用线(twine)和白布(calico)隔开。铜线有3根,每根约24英尺长,它们可以接起来成为一根,或作为几根单独使用。用槽使每个线圈彼此都绝缘。可以把这一边叫做A。在另一边(与这一边隔一段空隙),用铜线绕了两个线圈,共约60英尺长,绕的方向与A边的相同,这边叫做B边。”(参看图1.1)

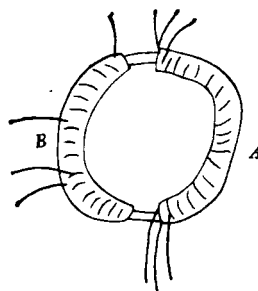


图 1.1 法拉第日记中的草图

“3. 使电池充电,电池由10对板组成,每块板的面积为4平方英寸。把B边的线圈联接成一个线圈,并用一根铜线把它的两端联接起来,这铜线正好经过远处一根磁针(离环约3英尺)的上方。然后把A边一个线圈的两端接到电池上,立刻可看到对磁针产生一个明显的作用。磁针振动并且最后停在原来的位置上。在断开A边与电池的接线时,磁针又受到扰动。”

这就是法拉第第一次成功地观察到电磁感应现象的记录。接着,他详细记录了用这个绕有铜线的铁环所作的各种实验和新的发现。

从法拉第的日记中我们看到,电磁感应(由磁产生电)的发现是他意料中的事,使他感到意外的是,电磁感应是一种短暂效应。因为奥斯特

特发现的电流的磁效应是一种稳定效应，在他的思想里，电磁感应似乎也应当是一种稳定效应。所以在发现了电磁感应是短暂效应后，他在日记中就突出地记录了这一点。

发现了电磁感应后，法拉第花了近一年的时间（1831年8月29日至1832年7月11日），对它作了专门的详细研究。他作了各种实验，确定在各种情况下感应电流的方向以及与磁通量变化的关系等，写下了64页日记，共有441条记录，并画了不少说明的草图。其中重要的发现有：

1831年9月24日，仅用磁棒和绕在铁棒上的导线产生电磁感应，他称之为“把磁转化为电的不同方法”；

1831年10月17日，用磁棒插入或抽出线圈，产生感应电流；

1831年10月28日，发明圆盘发电机。

3. 法拉第在物理学上的其他重要贡献

除了电磁感应之外，法拉第在物理学上还有不少贡献，在创造发明方面，重要的有：

(1) 1821年 发明电动机（载流导线绕磁棒转动）；

(2) 1833年 发现电解定律；

(3) 1834年 发现自感；

(4) 1845年 发现光的偏振面的磁致旋转（现在称为法拉第效应）；

(5) 1845年 发现抗磁性。

在物理概念方面，重要的有力线的概念。尽管在法拉第以前，已有力线这个词，但法拉第却使它具有新的物理意义。在他看来，所有的空间都充满了力线。赫兹说得好：“电力线和磁力线在法拉第看来，都是实际存在的、真实的、能感觉到的某种东西。”从法拉第日记中所画的许多草图，可以清楚地看出这一点。麦克斯韦曾说过：“在数学家们只见到超距作用引力中心的地方，在法拉第的心目中却出现了贯穿整个空间的力线。”法拉第的思想，经过麦克斯韦用数学的语言表示出来，就是我们今天电磁场的概念。

一个出身很苦，没有受过正规教育的人，经

过自己的努力，登上了当时科学的最高峰，创造了丰功伟绩，对人类作出了巨大的贡献，这在历史上是少有的。法拉第是不朽的。

二、赫兹实验^[4-6]

1. 历史背景

在上一世纪，二十年代初奥斯特发现了电流的磁效应，十年后，法拉第发现了电磁感应。随着电磁学基本规律的发现，一方面电磁技术的应用迅速发展起来，五十年代出现了电报，六十年代出现了商品直流发电机；另一方面电磁理论的基础也逐步建立起来，六十年代，麦克斯韦（J. C. Maxwell, 1831—1879）在总结前人的实验规律之后，提出了电磁场的基本方程和光的电磁理论。

麦克斯韦的电磁理论刚出来时，并没有立即在物理学界中得到承认，只有一些杰出的物理学家像亥姆霍兹（H. L. F. Helmholtz, 1821—1894）和玻耳兹曼（L. Boltzmann, 1844—1906）等才认识到它的意义并支持了它。由于麦克斯韦不只是单纯总结前人的实验规律，而是作了补充和推广，因此他的理论是否正确，仍然是个问题，这个问题当然只有通过实验才能解决。亥姆霍兹曾明确提出，需要用实验来验证麦克斯韦的理论。1879年他为柏林大学出的物理竞赛题就有这个意义，他的学生赫兹（H. R. Hertz, 1857—1894）参加竞赛，因获胜而赢得了金质奖章。后来，柏林科学院又根据他的建议，悬赏征求“用实验确定电磁作用与介质极化之间的关系。”他建议赫兹去解决这个问题。但赫兹经过计算感到，采用当时的实验设备，无法产生为了解决这个问题所必需的快速电振荡，又想不出新的办法，只好作罢，但是这个问题一直在赫兹的心里。1884年赫兹从理论上研究了麦克斯韦的电磁理论后，又想到用实验验证这个理论的问题。

2. 赫兹实验

(1) 创造发射和接收电磁波的仪器

1885年秋，赫兹到卡尔斯鲁（Karlsruhe）高

等学校当教授,这个学校设备较好,为他的研究工作提供了方便。1886年,他在作放电实验时,注意到一个现象:用一根弯成长方形的铜线(两端间有一个很小的间隙)构成一个开路,用一条导线把这开路连接到正在由感应圈激发而作火花放电的回路上,间隙中也有火花出现;接到回路上任何一点,间隙中都有火花出现,而且不接到回路上,也有火花出现。他理解到这是电磁振荡的共振现象(谐振现象),是开路的固有频率等于放电回路的固有频率所致。他继续研究,终于创造出发射电磁波的赫兹振子和接收电磁波的探测器以及火花测微计等。

赫兹振子如图 2.1 所示,它由两根黄铜棒构成,棒的一端都作成小球形,两棒放在同一直线上,使两小球间留有一个小间隙。这两棒分别接到感应圈的两极上。调节感应圈使小球间产生火花,这火花就是频率约为 100 兆赫(10^8Hz)的交流电产生的,它向外发射相同频率的电磁波。他用来接收电磁波的探测器(或称谐振器)就是与此种振子形状相同的两根黄铜棒,当它放在适当的位置上,调节两棒间的距离,使从振子发出的电磁波在它里面产生谐振,则间隙中便产生火花。这样,赫兹就证实了电磁波的存在。这是 1887 年的事。

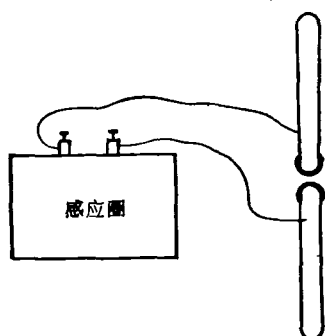


图 2.1 赫兹振子 (v)

(2) 关于电磁波性质的实验

赫兹在用实验证实了电磁波的存在以后,接着就作了一系列实验,来研究电磁波的性质。现在把其中的一些介绍如下。

i. 直线进行和聚焦

为了使电磁波聚焦,他用两米长的锌板,弯

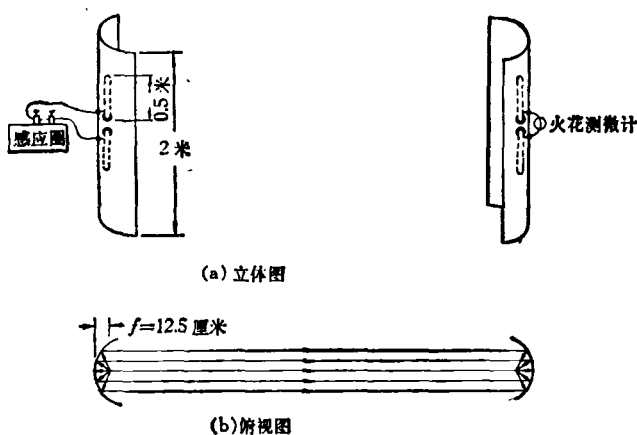


图 2.2 直线进行和聚焦

成抛物柱面的形状,把振子和探测器分别放在这样两个柱面的焦线上,如图 2.2 所示。调节感应圈使振子产生火花,即发射电磁波。当探测器的柱面与振子的柱面正对着时[如图 2.2 (b) 所示],探测器便出现火花,这火花由柱面后面的火花测微计显示;当探测器和它的柱面放在其他位置上时,探测器便不出现火花。这就证明了电磁波的直线进行和可以聚焦的性质,这些性质与光的性质完全相同。

ii. 反射

在振子 (v) 的前面放一块平面锌板,用来反射电磁波,然后用探测器 (d) 来探测空间各处电磁波的分布情况。赫兹发现,当探测器处在 $\theta' = \theta$ 的位置上时(如图 2.3 所示),便有火花出现;在其他位置上,便没有火花出现。这就证明了电磁波和光一样,遵守反射定律。

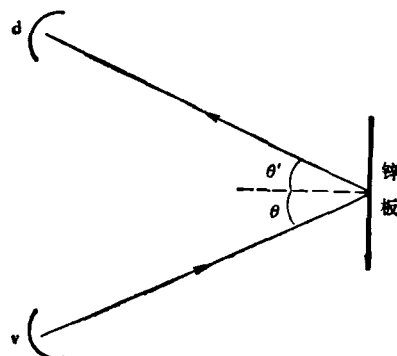


图 2.3 反射

iii. 折射

为了试验电磁波的折射，赫兹用硬沥青做成一个很大的三棱体，使从振子(v)发出的电磁波以一定的角度入射到它上面，然后用探测器(d)探测电磁波的折射情况。他由探测结果得出，电磁波经过硬沥青的三棱体时，发生折射，如图 2.4 所示，这和光经过三棱镜时发生折射的情况相同。他还用测得的数据算出硬沥青对电磁波的折射率 $n = 1.69$ ，与由麦克斯韦理论推出的公式 $n = \sqrt{\epsilon}$ 所算出的数值符合。

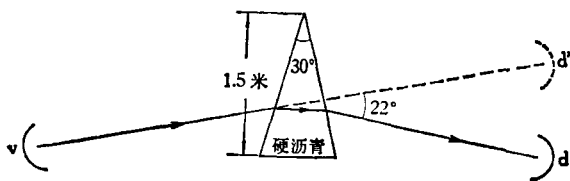


图 2.4 折射

iv. 驻波和传播速度

赫兹使从振子(v)发出的电磁波正入射到锌板上，观测到了入射波和反射波叠加所产生的驻波(图 2.5)。由驻波的波腹和波节，他测出了波长 λ ，然后由电磁波的频率 ν ，求出电磁波在空气中的传播速度 $c = \nu\lambda = 3 \times 10^8$ 米/秒，与光速相同，也与麦克斯韦理论算出的结果符合。

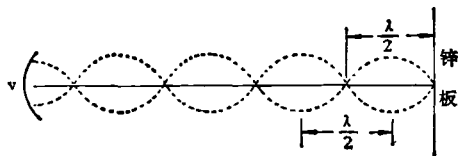


图 2.5 驻波

赫兹还作了其他实验，所有的实验都证实，电磁波和光具有相同的性质，从而证实了麦克斯韦理论的正确性。因此，自赫兹实验后，麦克斯韦的电磁理论就被物理学界所接受。还有，赫兹所创造的电磁波的发射器和接收器，也就是后来无线电和射电的发射器和接收器的开端。

三、迈克耳逊-莫雷实验^[7-11]

迈克耳逊-莫雷实验的目的是探测地球相

物理

对于以太运动的速度，实验结果是观察不到这种运动。这个实验是物理学史上少有的几个重要实验之一，它使人类对物理世界的认识发生了深刻的变化。

1. 历史背景

以太(ether 或 aether)这个词早在古希腊时就已经有了，那时它的意义是青天或上层大气；在古宇宙学中，还表示占据天体间的物质。到十七世纪初期(1630 年左右)，法国科学家笛卡儿(R. Descartes, 1596—1650)把以太的概念引用到物理学中来，认为以太充满所有的空间，无所不至，能传递万有引力和磁力以及光和热等。后来，以太在很大程度上被当作是传播光的媒质。为了说明光的一些实验规律，人们便对以太的性质提出了各种假说。到十九世纪初期，由于光的波动说取得了很大进展，对以太的研究也随着兴盛起来。很多人想用实验来观察以太的性质，特别是想测出地球相对于以太的速度。但在当时的实验灵敏度范围内，观测不到地球相对于以太的运动。

十九世纪六十年代中期，麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)建立了电磁理论，按照这个理论，当实验的灵敏度达到 $(\frac{v}{c})^2$ 的量级

时，应当能观测到仪器相对于以太的运动(这里 v 是仪器相对于以太的速度， c 是真空中光速)。对地球来说，公转的 $v \cong 3 \times 10^4$ 米/秒，故 $(\frac{v}{c})^2 \cong 10^{-8}$ 。当时的实验技术达不到这个

灵敏度。

1873 年迈克耳逊(A. A. Michelson, 1852—1931)毕业于美国海军学院，留校教物理，他对测量光速很感兴趣，这一点促使他于 1879 年转到美国航海历书局专门做测量光速的工作，在该局，他有机会看到了麦克斯韦于 1879 年 3 月 19 日写给托德(D. P. Todd)的一封信，信中间到，地球在轨道上的不同位置所观测到的木星卫星食，是否有足够的精度来确定地球的绝对运动。信的最后一段说到，所有地面上测量光速的方法都未能探测到地球在空间的运动，

这是因为“在地面上测定光速的方法里,光都是沿同一路径返回,因而地球相对于以太的速度使往返时间发生变化的量同地球速度与光速之比的平方有关,而这个量实在太小,以致观察不出来。”这话对迈克耳逊影响非常大,所以次年(1880年),当他有机会到欧洲进修时,便下决心为解决这个问题而努力。当时的困难是不知采用什么方法才能达到 $(\frac{v}{c})^2$ 量级的灵敏度。

后来他受到雅满干涉仪的启发,又得到一些资助,便创制了一种新的干涉仪(即迈克耳逊干涉仪),它达到了 $(\frac{v}{c})^2$ 量级的灵敏度。1881年首次用它在德国波茨坦作观测实验,得出了否定的结果(即观察不到地球相对于以太的运动)。

迈克耳逊回到美国后,与莫雷(E. W. Morley, 1838—1923)一起改进了仪器,提高了灵敏度,根据在1887年7月作的实验,仍然得出了否定的结果。这就是著名的迈克耳逊-莫雷实验。

2. 迈克耳逊-莫雷实验

(1) 实验装置

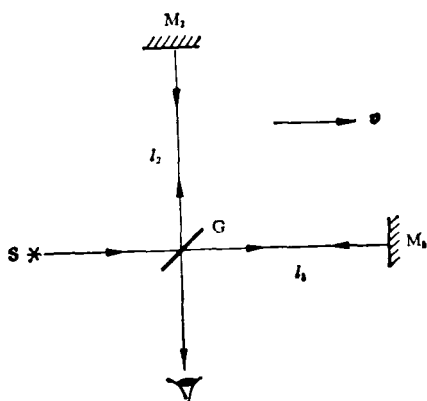


图 3.1 迈克耳逊-莫雷实验原理图

迈克耳逊-莫雷实验装置的原理图如图 3.1 所示。从光源 S 发出的单色光经半镀银玻璃片 G 分成两部分,一部分透过 G 后向右,经反射镜 M₁ 反射回来,再经 G 反射到观察者处;另一部分先经 G 向上反射,到达反射镜 M₂ 被反射回

来,再透过 G 射到观察者处。这两部分光在相遇时发生干涉。干涉仪两臂的长度分别为 l₁ 和 l₂, 它们互相垂直。仪器安装在一块大石板上,石板浮在水银面上,以便转动。

(2) 测量原理

按照以太假说,设地球相对于以太以速度 v 沿 GM₁ 的方向运动(参看图 3.1),则在地球上观测,光从 G 到 M₁ 的速度为 c - v, 从 M₁ 回到 G 的速度便为 c + v, 所以光从 G 到 M₁ 再回到 G 所需的时间为

$$t_1 = \frac{l_1}{c-v} + \frac{l_1}{c+v} \\ = \frac{2l_1}{c} \left(\frac{1}{1-\frac{v^2}{c^2}} \right)$$

对以太来说,光从 G 到 M₂ 是沿直角三角形的斜边走的,如图 3.2 所示,光速在直角边上的分量

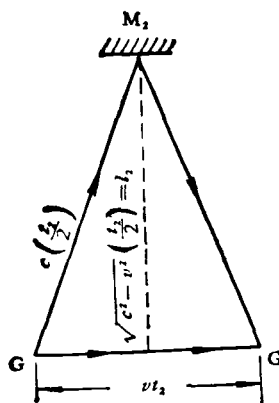


图 3.2

为 $\sqrt{c^2 - v^2}$, 这就是在地球上观测到的光从 G 到 M₂ 和从 M₂ 到 G 的速度。因此,光从 G 到 M₂ 再回到 G 所需的时间便为

$$t_2 = \frac{2l_2}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l_2}{c} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

由以上两式得出,同时从 G 出发的两部分光,分别经 M₁ 和 M₂ 反射后再射向 G, 到达 G 的时间之差便为

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

$$= \frac{2}{c} \left(\frac{l_1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{l_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right).$$

把仪器转 90° 后,光路图就变成图 3.3 所示的样子,这时 l_1 臂垂直于 v , 而 l_2 臂则平行于 v . 所以按照上面的分析,这时两部分光回到 G 的时间之差便为

$$\Delta t' = \frac{2}{c} \left(\frac{l_2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{l_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right).$$

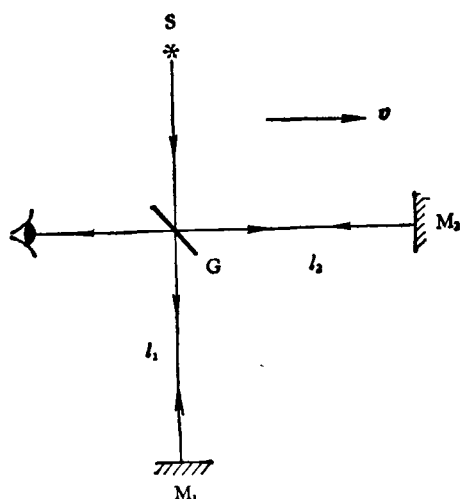


图 3.3 干涉仪转动 90° 后

仪器转动前,经 M_1 反射的光要比经 M_2 反射的光晚一些回到 G, 所晚的时间就是 Δt ; 仪器转动 90° 后,经 M_1 反射的光便要比经 M_2 反射的光早一些回到 G, 所早的时间就是 $\Delta t'$. 因此,仪器转动 90° 前后,时间的总差别便为

$$\begin{aligned} \delta t &= \Delta t + \Delta t' = \left(\frac{l_1 + l_2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{l_1 + l_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right) \\ &= \frac{2(l_1 + l_2)}{c} \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right). \end{aligned}$$

因为 $\frac{v}{c} \cong 10^{-4}$, 故 $\frac{v^2}{c^2} \cong 10^{-8}$, 利用二项式展开,并略去高于二次的项,便得

$$\delta t \cong \frac{2(l_1 + l_2)}{c} \left(1 + \frac{v^2}{c^2} - 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right)$$

$$= \frac{l_1 + l_2}{c} \cdot \frac{v^2}{c^2}.$$

与时间差 δt 相应的光程差为

$$\Delta = c \delta t = (l_1 + l_2) \frac{v^2}{c^2}.$$

因此,仪器转 90° 后,干涉条纹移动的数目便为

$$N = \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{l_1 + l_2}{\lambda} \cdot \frac{v^2}{c^2}.$$

式中 λ 是所用的光的波长. 实验就是转动仪器,观测条纹移动的数目 N .

(3) 实验结果

在迈克耳逊-莫雷实验中, $l_1 = l_2 = 11$ 米, $\lambda = 5893 \text{ \AA}$. 地球公转速度为 $v \cong 3 \times 10^4$ 米/秒,假定以太相对于太阳静止,则这个速度便是地球相对于以太的速度. 把这些数值代入上式,算出条纹移动的数目应为 $N = 0.37$ 条. 他们所用的仪器灵敏度很高,条纹移动 $N = 0.01$ 条就可以被观察到. 但是,在他们仪器的灵敏度范围内,他们实际上没有观察到条纹的移动.

3. 以后的实验

迈克耳逊和莫雷的实验结果发表后,在物理学界引起了震动. 由于它的意义重大,从这以后近百年来,不断地有人重复做他们的实验. 尽管观察方法不断改进,仪器灵敏度不断提高,但都是观察不到条纹的移动. 如果说,在迈克耳逊-莫雷当时的实验中观察不到条纹的移动,地球相对于以太的运动速度应小于 4.7 公里/秒,则在七十年代用激光做的实验表明,地球相对于以太的运动速度应小于 0.9 米/秒.

顺便提一下,曾长期做迈克耳逊-莫雷实验的密勒 (D. C. Miller, 1866—1941), 在 1933 年发表他的实验结果时,曾说观察到干涉条纹有周期性的移动,由此算出地球相对于以太的运动速度为 10 公里/秒. 但是 1955 年,善克兰 (R. S. Shankland) 等仔细分析了密勒的实验装置和结果,认为密勒所观察到的条纹周期性移动是统计涨落和温度变化造成的.

4. 迈克耳逊-莫雷实验的意义

迈克耳逊-莫雷实验和此后近百年来 的其他实验都表明,观察不到地球相对于以太的运

动。这是物理学上的一个重要结论。迈克耳逊-莫雷的实验结果,使人们得以摆脱当时的以太观点来考虑问题,结果导致狭义相对论的诞生。爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)在《论动体的电动力学》中讲道:“企图证实地球相对于‘光媒质’运动的实验的失败,引起了这样一种猜想:绝对静止的概念,不仅在力学中,而且在电动力学中也不符合现象的特性;倒是应当认为,凡是对力学适用的一切坐标系,对于

上述电动力学和光学的定律也一样适用。对于第一级小量来说,这是已经证明了的。”“‘光以太’的引用将被证明是多余的,因为按照这里所要阐明的见解,既不需要引进一个具有特殊性质的‘绝对静止的空间’,也不需要给发生电磁过程的空虚空间中的每个点规定一个速度矢量”。

(冯庆荣 整理)

磁性测量讲座

第二讲 研究磁结构的实验方法(I)

周文生

(北京大学物理系)

物质的宏观磁性来源于物质内部的磁结构,例如铁磁物质的磁化过程,就是磁畴的取向和尺寸变化的宏观反映。物质由顺磁到铁磁或反铁磁的转变是原子磁矩由无序转变为某种形式的有序结构的结果。因此,为了研究物质宏观磁性的来源,探求它的物理本质,人们总希望能“看”到物质内部的结构——晶体结构和磁结构,从而找出宏观性质与微观结构之间的联系。在物质磁性的研究深入到微观领域的今天,用实验方法研究物质的磁结构显得格外重要。

所谓磁结构,主要是指原子或离子磁矩的空间取向和分布。对于铁磁性物质来说,原子或离子磁矩之间的近程直接相互作用使它们相互平行地耦合在一起,形成磁畴。在其他磁性相中(如反铁磁性、亚铁磁性、螺旋磁性和自旋玻璃等),不同性质的相互作用(直接的或间接的)使原子或离子磁矩具有不同的取向排列和分布。

研究磁结构的主要实验手段大多是一些近代物理实验技术,如电子射线技术、磁光效应、中子衍射、核磁共振和穆斯堡尔效应等。其中涉及到许多固体物理的概念,特别是一些关于

物质微观结构的知识。因此,本文只能对这些方法的基本原理、实验技术和主要应用做一扼要的介绍。需要深入了解的读者可以参考有关的专门书籍和参考资料。

本文分磁畴结构的观察、中子衍射、核磁共振和穆斯堡尔效应四部分。

一、磁畴结构的观察

磁畴是铁磁及亚铁磁材料宏观磁化的基础,与各种宏观磁性如剩磁、矫顽力、磁导率、磁滞和磁能积等有着直接的关系。观察磁畴的方法很多,大致情况如表1所示。

1. 胶液技术^[1-4]

胶液技术也称为粉纹法或毕特(Bitter)技术。它的基本原理是:将含有 Fe_3O_4 小颗粒的胶体溶液涂在预先处理好的样品表面上,由于存在于样品表面与畴壁交界处附近的不均匀磁场对 Fe_3O_4 小颗粒产生作用力,这些小粒子最终被吸附在样品表面上有畴壁的地方。因此,黑褐色的 Fe_3O_4 小颗粒的聚集可以勾画出样品表面的磁畴图形,只要用几十到几百倍的金相