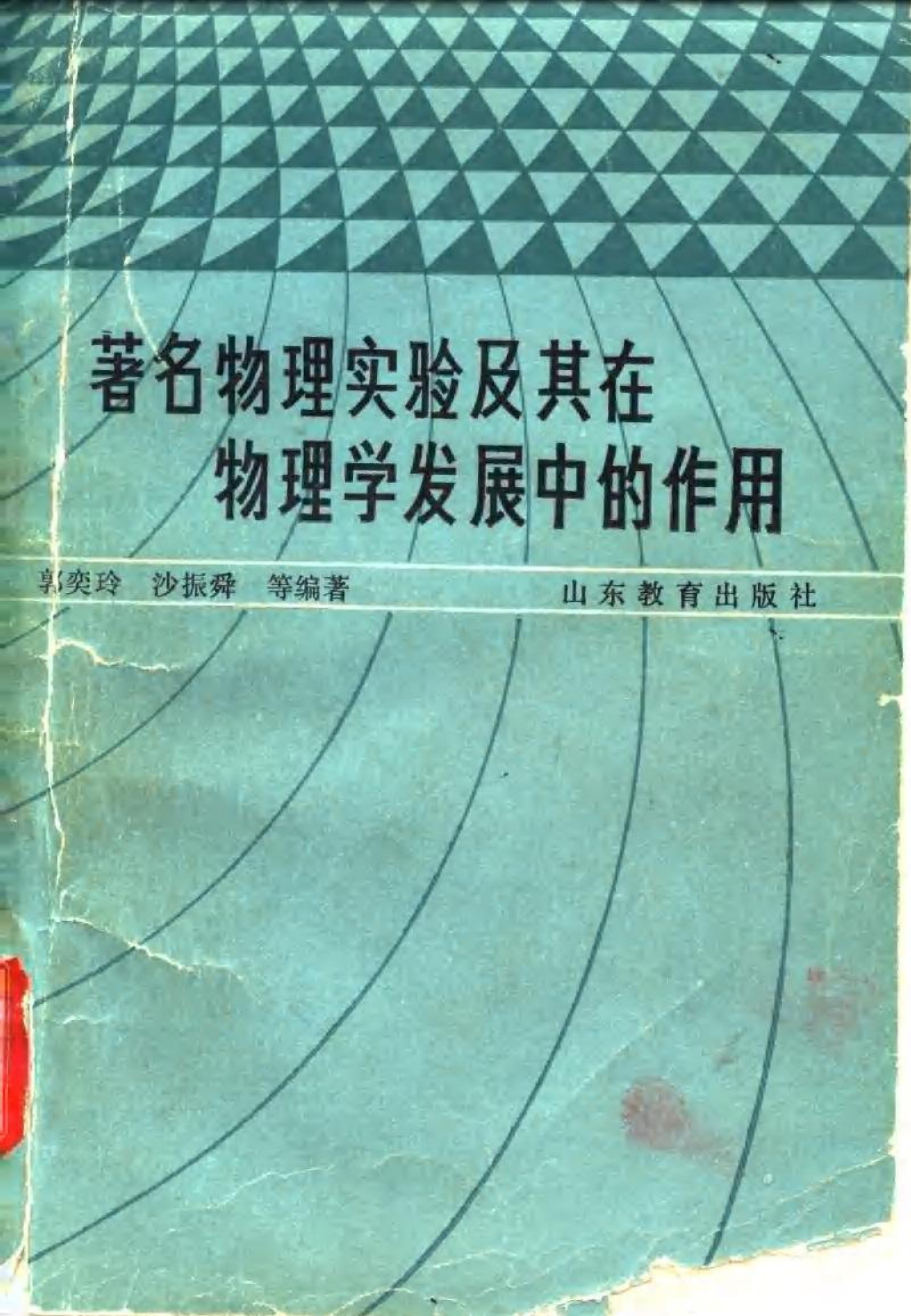




# 著名物理实验及其在 物理学发展中的作用

郭奕玲 沙振舜 等编著

山东教育出版社

# 著名物理实验 及其在物理学发展中的作用

郭奕玲 沙振舜等 编著

山东教育出版社

一九八五年·济南

**著名物理实验及其在  
物理学发展中的作用**

郭奕玲 沙振舜等 编著

★  
山东教育出版社出版  
(济南经九路胜利大街)

山东省新华书店发行 山东新华印刷厂德州厂印刷

★  
850×1168毫米32开本 8.75印张 190千字

1985年4月第1版 1985年4月第1次印刷

印数1—3,060

书号 13275·24 定价 1.45元

## 编者的话

本书介绍一些在物理学发展中起过重要作用的近代物理实验，其中不少实验的创作者获得过诺贝尔物理学奖。这些实验也大多是目前我国内外高等学校近代物理实验的教学内容。本书将介绍这些实验的历史背景、社会条件、思想渊源、进行情况及其在物理学发展中的作用，并适当介绍有关物理学家的生平事迹和治学经验。

物理学是一门实验科学。在物理学中，每个概念的建立，每个定律的发现，无不有其坚实的实验基础。实验在物理学的发展中有巨大的意义和推动作用。可以说，离开了物理实验，就无法谈论物理学的发展。伽利略的实验研究，特别是他把实验方法和数学方法相结合来研究物理规律，使物理学开始走上了真正的科学道路。诚然，物理学理论也有一定的相对独立性。理论物理学用逻辑推理的方法，发现不少定理和规律，并预言了新的现象。然而，即使最权威的理论也必须通过实验的检验，才能得到公认。在物理学史上，许多关键问题的解决，最后都要诉诸实验。例如：杨氏的光干涉实验证实光的波动说，赫兹的电磁波实验证实麦克斯韦的电磁场理论，密立根的光电效应实验证实爱因斯坦的光量子假说……，实验都起着判决性的作用。总之，物理实验为物理学提供了丰富的新事实和新规律，它既是物理学的基础，同时又是检验理论的唯一依据。当然，理论对于实验也起重要的指导作用。“没有实验基

础的理论会变成空中楼阁，没有理论性指导的实验，会视而不见，当面错过发现的良机。”在物理学中，理论和实验有着相互依赖的辩证关系。无数事实证明，物理学各个领域的成就无不是理论和实验密切结合的结晶。

我们在本书中介绍若干著名近代物理实验的历史沿革，目的是：

- 1.通过典型事例，阐述实验在物理学发展中的巨大意义和推动作用，以求正确认识理论与实验相辅相成、共同前进的辩证关系。

- 2.以大量历史资料说明物理学发展的历程。物理学的每一重大突破，都是许多人长期研究工作的结晶，其中包括大量的平凡实验工作。实验的成功来之不易，决非偶然，都是要付出辛勤劳动的。

- 3.以历史上的著名实验为典型素材，启发学生进行科学思维，培养他们观察和提出问题、分析和解决问题的能力，提高他们进行科学探索的兴趣和推动科学发展的信心。

- 4.通过对实验的介绍，希望从前辈物理学家那里学习他们科学创造的方法，特别是他们巧妙的设计思想，高超的实验技术以及反复试验，坚韧不拔的毅力。同时，学习他们严谨的治学方法和实事求是的科学态度，在将来的科学领域内有所发现，有所创新。

历史在前进，科学在发展。历史上的著名实验也许所用仪器比现在落后陈旧，方法也许不是唯一的和最佳的，结果也不一定最精确、最完美，但是前辈科学家在当时的技术条件下所创造的伟大业绩却永远闪烁着光辉，他们的思想和宝贵经验可以使我们深受教益。

本书曾两次以油印本试刊，在这期间，我们得到了许多兄弟院校师生们的鼓励、帮助和批评建议。汪世清先生、胡南琦先生、邹延肃先生审阅了初稿，提出了许多宝贵意见和希望；虞福春先生对“核磁共振”作了详细审阅；夏元复、杜毓良、张校等先生审阅了“穆斯堡尔效应”，在此我们一并致谢。

在撰写本书中，我们参考和学习了G. L. Trigg教授的两本著作：《现代物理学中的关键性实验》和《二十世纪物理学的重要实验》。承蒙他赠予原作并提出宝贵意见，我们向他表示衷心感谢。

特别使我们感激的是，张文裕先生亲自为本书作序，他精辟地论述了科学实验的重要作用，对我们的工作是一极大的支持。

本书是集体写作编成，其中“核磁共振”系林木欣所写；“X射线晶体衍射”系李象晋所写；“穆斯堡尔效应”系曾贻伟所写；“霍尔效应”、“夫兰克—赫兹实验”、“约瑟夫森效应”系沙振舜所写；“光电效应”、“里查森热电子发射规律”系沙振舜和郭奕玲合写；“卢瑟福散射实验”系郭奕玲和沈慧君合写；其余为郭奕玲所写。全书由郭奕玲统稿。

## 张文裕序

加速器高能物理已有三十多年的历史了，西欧起步比美国要晚几年，而且人力物力等又在第二次世界大战期间受到严重的破坏。因此在头十年，西欧显得比美国落后得多。但是，最近十来年，特别是近五年来，西欧的工作方向和方法对头，加速器选得对，造得快，造得好；重大物理问题选得对，解决得快，解决得好！所以，西欧就显得领先了。为什么呢？我想西欧有良好的物理传统，尤其是好的科学实验传统。这些传统都是经过三、四百年所长期培植出来的。如果说西欧是物理学的主要发祥地和成长的地方，并不算夸大。

物理学本质上是一门实验科学，这是三百年前伽利略和牛顿等人早就确定下来的。在这之前，物理学尚未形成一门科学，它的许多问题在几个世纪的漫长时间里，是被作为自然哲学，或者仅通过简单而零散的生活和生产实践的知识来加以研究的，结果成效都不大。以后，随着实验手段的完善和发展，促进了物理学新的理论的产生。特别是近一百年来，物理学不论在实验上还是在理论上，都有着突飞猛进的发展。在物质微观结构和应用物理等方面的发展上，更是这样。物理学的这些发展，主要是在西欧诸国进行的。美国的科学，特别是物理学的发展，主要起始于本世纪三十年代初期。

科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，也是工程技术的基础。物理学研究的对象是“物”，要研究“物”，

就必须变革“物”，并观察其变革后的反应。这样，既要“变革”，又要“观测”，自然就需要进行科学实验。我们的前人，如伽利略和牛顿等人，我想他们当年就是这样理解的。后来长期的科学实验也证明他们是完全正确的！

另一方面，“物”的研究总会导致与工业生产相结合，因为从有人类以来，人与物的关系就是极其密切的，人总要想使物为自己服务。因此，基础研究、应用研究、开发研究和生产四个方面如果结合得好，工业生产就发达，经济建设和国防建设，势必会繁荣兴旺。

要把上述四个环节紧密贯穿在一起，必需有一条红线，这条红线就是科学实验。西方科学技术先进的国家就是很好的、可借鉴的例子。

三十几年来，粒子物理学丰富多彩的发展，充分显示了物理学在经过伽利略和牛顿等人之后的重大突破。如果没有粒子物理学的实验方法，粒子物理就不可能会有今天的盛况；如果没有科学实验，科学技术也不可能会有今天这样昌盛。

我国古代的科学技术远远领先于西方，这种辉煌成就是全世界公认的。但是，近三百多年来，却远远落后于西方。我认为主要原因是：西方自从伽利略和牛顿等人倡导科学实验以来，大力发展了科学实验，而我们却仍然未动。轻视科学实验是我们的不良传统之一，也是几千年封建思想的、特别是一千多年科举制度的遗毒，这是科学不发达的重要原因。关于我国近代科学不发达的原因，说法很多，我认为主要原因是社会性的因素。但是，对于自然科学来说，不发达的主要原因是轻视科学实验和技艺。

郭奕玲、沙振舜等同志合写的《著名物理实验及其在物理

学发展中的作用》是一本很重要的、特别是在我国目前情况下所迫切需要的书。这些实验在历史上对推动物理学的发展都起过关键性作用。更宝贵的，郭、沙等同志对这些实验的学习都有些提示。这些提示包括：实验课题的历史背景，它们在物理学发展史上所起的作用，原作者的简历及其在实验中的工作方法和思想方法，等等。这些提示，对处在一个曾经长期受过封建思想影响的我国的青年们，是有教育意义的！

在西欧和美国等西方国家中，物理学的教育和科研各有其独特而又有类似的传统，可谓大同小异；而中国与他们比较或者是大异小同。在西方大学里的物理课程，基本上每学科（如力学、光学、原子物理、核物理等），每星期有三个小时讲课（有时有实验演示）和一个半天相应的实验课。此外，每学期还要做二、三个中、高级实验，内容比较长、细。内容犹如郭、沙等同志书中所介绍的实验。总的比较，我们教的只是西方的一半，是不用动手的那一半！在西方，物理系的毕业生出路非常宽阔，约百分之九十以上到其他学科搞科研或进工业部门搞应用研究。只有约百分之五到十留校任教和做基础研究。我们则可能相反，大部留下任教和做基础研究，而教的和研究的大多是“理论”（偏重数学和哲学），轮回教育，代代如此相传！

还有，科研与教育应该密切结合，教师应该搞科研，科研人员应该教书，这样，对学生、教师、科研人员，因而对教育和科研都有莫大的好处！这样，更能有效地及时地传授和培植新发展起来的科学和技术。

如上所述，科学实验是科学理论的源泉，是自然科学的根本，是工程技术的基础。郭奕玲、沙振舜等同志合写的书的出

版和使用，将有助于促进我国比较落后的科学实验的发展和水平的提高。

張之謨

1984年7月

# 目 录

张文裕序

编者的话

|              |        |
|--------------|--------|
| 一、霍尔效应       | ( 1 )  |
| 二、迈克耳逊——莫雷实验 | ( 8 )  |
| 三、氢原子光谱      | ( 24 ) |
| 四、塞曼效应       | ( 33 ) |
| 五、电子的发现      | ( 40 ) |
| 六、黑体辐射       | ( 58 ) |
| 七、电子质量与速度的关系 | ( 70 ) |
| 八、里查森热电子发射规律 | ( 79 ) |
| 九、光电效应       | ( 84 ) |
| 十、固体比热       | ( 95 ) |
| 十一、基本电荷的测定   | (105)  |
| 十二、卢瑟福散射实验   | (120)  |
| 十三、X射线晶体衍射   | (141)  |
| 十四、夫兰克—赫兹实验  | (152)  |
| 十五、斯特恩—盖拉赫实验 | (159)  |
| 十六、康普顿效应     | (169)  |
| 十七、冉绍尔效应     | (177)  |
| 十八、电子衍射      | (185)  |
| 十九、核磁共振      | (196)  |

|                   |       |
|-------------------|-------|
| 二十、穆斯堡尔效应.....    | (212) |
| 二十一、约瑟夫森效应.....   | (230) |
| 附录一 卡文迪许实验室.....  | (237) |
| 附录二 重要物理实验年表..... | (251) |

# 一、霍尔效应

十九世纪电磁现象的研究工作是硕果累累的。奥斯特、安培和法拉第等人的发现，使电磁现象的实验研究取得了很大进展。特别是法拉第不仅发现了电磁感应现象，还发现了电解定律、抗磁性等，对物理学的发展作出了巨大贡献。在有关实验规律和法拉第的“力线”和场的概念的基础上，英国物理学家麦克斯韦以惊人的数学才能总结出经典电动力学方程组，建立了系统的电磁场理论。

1879年，霍尔在研究载流导体在磁场中受的力的性质时，发现了一种电磁效应，即如果在电流的垂直方向加上磁场，则在同电流和磁场都垂直的方向上将建立一个电场，这个效应后来被称为霍尔效应。一百多年来，霍尔效应以及利用这个效应制成的元件—霍尔元件，在科学技术中已得到广泛的应用。

## 1、霍尔效应的发现

霍尔在1879年11月写的文章中写道：“在我研究生生活的最后一年，有一次我读到麦克斯韦的《电磁学》（这是罗兰教授开的课的教科书），我的注意力特别为下面一段叙述所吸引：

‘我们必须记住，推动载流导体切割磁力线的力不是作用在电流上……。如果电流自己能自由选择固体导体中的道路，那么，当恒定磁力作用在这个系统之时，电流通过导体的道

路，在某种暂态现象之后，电流的分布将和没有磁力作用时的一样。’”

霍尔在文章中接着写道：“我觉得这似乎和平常的推理相矛盾。我对麦克斯韦所说的‘在导线中，电流的本身完全不受磁铁接近或其他电流的影响。’这句话感到奇怪。不久，我读了瑞典物理学家爱德朗教授的一篇文章，文中假定：磁铁作用在固态导体中的电流上，恰如作用在自由运动的导体上一样。”

霍尔发现了这两个学术权威的不一致后，带着这个问题去请教罗兰教授。罗兰教授说，他也曾怀疑过麦克斯韦论断的正确性，而且做过一个实验以检验麦克斯韦和爱德朗的论断谁是谁非，但没成功。

于是霍尔设计了一实验，想通过它解决这个问题。这个实验是根据下述假定：如果在固定导体中的电流本身被磁铁吸引，那么电流会被拉向导线的一侧，因而电阻应该增加。

霍尔把一根银线绕成的扁平螺线放在电磁铁两磁极之间，使磁力线垂直穿过螺线，因而和电流垂直，以电桥测螺线电阻的改变。结果显示磁铁的作用并不引起螺线电阻的改变。但是这还不足以证明磁铁不能影响电流。

接着，霍尔又重复了罗兰教授以前进行的实验。用一个金属盘作为电路的一部分，将它放在电磁铁两极之间，盘垂直切割磁力线，用灵敏电流计观测两端子的相对电位有无改变，以确定磁场是否影响盘中的等位线。

可能是由于金属盘太厚，当时实验没有做出任何肯定的结果。这时，罗兰劝霍尔用嵌在玻璃板上的镀金箔代替金属盘，重复上述实验（图 1—1）。

结果，实验成功了。霍尔发现了由于磁铁的作用，电流计

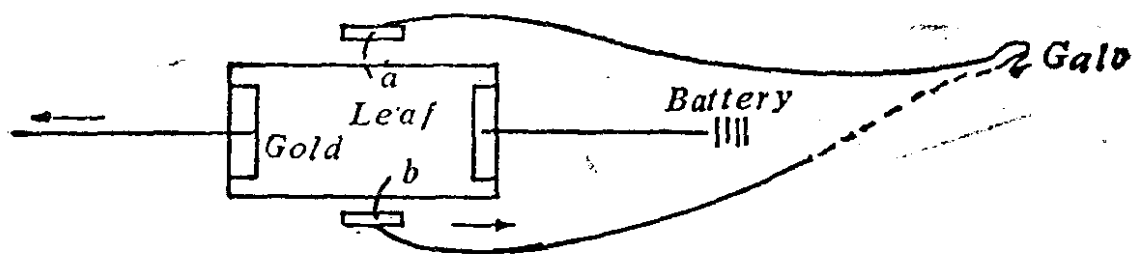


图 1—1 霍尔笔记中的图

发生明显的偏转。

为了进行定量的实验，霍尔制备了一个新的玻璃板，将 2 厘米宽、9 厘米长的金箔条固定其上，并保证引出线的良好接触。将板面垂直放在磁场中，金箔条两边缘上相对两点接灵敏电流计的端子。实验的目的是测定上述观察到的效应是否随磁场的改变以及通过金箔的电流强度的改变而改变。

实验是匆忙进行的，但是已足够精确地显示出上述改变的规律。在霍尔的这个实验中，可以把磁铁的作用看成是在金箔内建立一个新的电动势，它与原来的电流成直角，若把它叫做横向电动势，则在一般情况下，相距 1 厘米的两个点之间的电位差  $E'$  可表成

$$E' \propto \frac{MC}{S}$$

这里  $C$  是通过 1 厘米宽的金箔条的原电流， $S$  是该条的截面积， $M$  是磁场强度。

这就是霍尔效应发现的经过。霍尔效应的主要内容是：若将通电流的导体置于磁场中，磁场  $B$  垂直于电流  $I$  的方向，则在导体中垂直于电流和磁场的方向上，产生一个横向电动势  $V_H$ ，

称作霍尔电势，如图1—2所示。相应的电场称为霍尔电场  $E_H$ ，即

$$E_H = RIB/d$$

上式中  $R$  称为霍尔系数， $d$  为导体板的厚度。

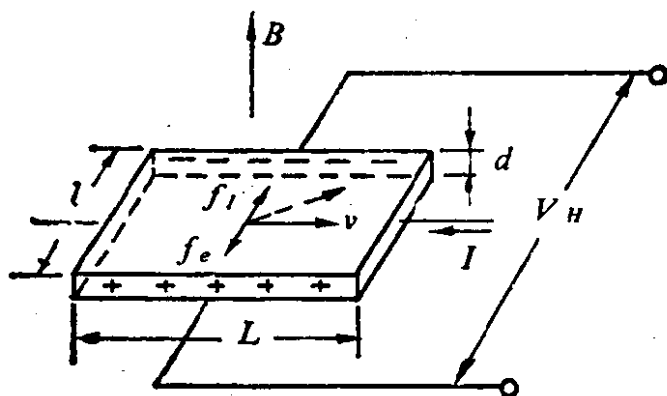


图 1—2 霍尔效应的说明

霍尔将自己的发现以《磁铁对电磁的新作用》为题，发表在《美国数学杂志》上，几个月后引起了国际上广泛的注意。新闻界将霍尔的成功誉为“过去五十年中电学方面最重要的发现。”开尔文说，霍尔的发现可和法拉第的发现相比拟。

霍尔的发现引起这个领域中研究者的兴趣，不久就发现了另外三个横向效应，即厄廷豪森、能斯特、里纪—勒杜克效应。

## 2、霍尔效应的解释

霍尔效应发现时，人们还不知道金属的导电机理，甚至不知道有电子存在，因此对现象的本质没有给以理论解释。1897年，汤姆逊发现了电子，他在研究金属导电机理时，知道金属中的电流是自由电子的定向运动。又发现运动电荷在磁场中受到洛伦兹力的作用。霍尔效应可用洛伦兹力来说明。

霍尔电势是电子受到洛伦兹力作用的结果。洛伦兹力在使

电子偏转，产生横向运动，引起电荷在导体边缘上积累而产生横向电场。

### 3、霍尔效应的应用

1910年有人用铋制成霍尔元件，用以测量磁场。但由于这种效应在金属中十分微弱，因此没有引起重视。1948年后，由于半导体技术的迅速发展，找到了霍尔效应较为显著的半导体材料（如锗、锑化铟、砷化铟），这时霍尔效应及其应用才被重视起来。

利用霍尔效应可以确定半导体材料的基本参数。例如，通过对霍尔效应的测量来判别半导体材料的导电类型，即是N型还是P型；通过测量霍尔系数可确定载流子浓度。另外，通过测量霍尔系数，对导电过程的研究也有十分重要的作用。现在，霍尔效应的测量已成为研究半导体性能的最重要、最基本的实验方法之一。

用实验方法研究物质的导电现象——测量霍尔系数和电导率，曾经推动了理论的发展，尤其是半导体理论的发展。而理论的发展又进一步对实验提出了要求。指出实验工作的研究方向。例如，要求在不同温区内进行测量，消除各种副效应的影响，提高测量的精度，使实验条件更符合理论上的要求等。当然实验工作的发展也进一步推动了理论的发展，导致了半导体工业的崛起。