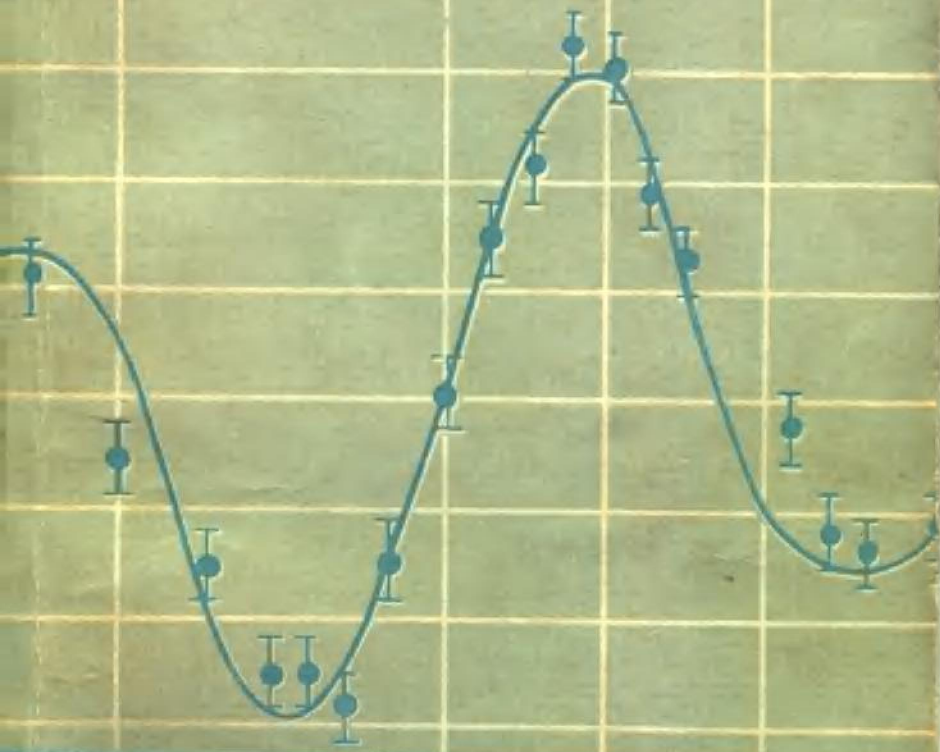


〔美〕 G. L. 特里格 著



二十世纪物理学的重要实验

科学出版社

二十世纪物理学的重要实验

〔美〕 G. L. 特里格 著

华新民 杨顺华 等 译

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书介绍二十世纪物理学的一些重要实验,这些实验使人们对于自然界某些方面的认识,或者对某些未知领域的探索,起了关键性作用。作者根据大量材料,对这些实验的历史背景和其理论结果作了比较详细的阐述,有助于我们加深物理学是实验科学的认识,了解实验在物理学中所起的重要作用。本书可供物理工作者、广大科技人员和理工科学生阅读参考。

G. L. Trigg

LANDMARK EXPERIMENTS IN TWENTIETH CENTURY PHYSICS

Crane, Russak & Company, Inc., 1975

二十世纪物理学的重要实验

〔美〕G. L. 特里格 著

华新民 杨顺华 等 译

责任编辑 夏墨英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982年2月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1982年2月第一次印刷 印张: 10

印数: 0001—6,600 字数: 226,000

统一书号: 13031·1768

本社书号: 2406·13—3

定价: 1.55 元

中 译 本 前 言

实验是物理学发展的基础，又是检验物理理论的唯一手段。特别是现代物理学的兴起，更和实验有着密切的联系。正是实验技术的发展，不断地揭示和发现各种新的物理学现象，日益加深人们对客观世界规律的认识，从而推动着物理学向前发展。因此，详细了解在物理学发展过程中起过关键性作用的一些实验，对我们学习现代物理学，掌握其中的许多基本概念，具有十分重要的作用。正是基于这一观点，美国物理学家特里格编著了两本书，一为本书，偏重于核物理以外的实验，另一为《现代物理学中的关键性实验》，偏重于核物理方面的实验。两书互为姐妹篇，有选择性地介绍了现代物理学中的一些重要实验，以帮助读者更好地掌握现代物理学的基本概念。这些实验有的导致了新学科的诞生，有的对新的理论起了判决性作用。为此，我们把两书译为中文出版，以供读者参考。

作者在两书中有力地证明了，作为二十世纪物理学坚实基础量子理论，并不是依据单一的实验，而是建立在一系列关键性的实验上。但是，在一般教科书或教学工作中，往往由于篇幅和时间的限制，或由于其他原因，一般只能选择最有说服力的实验作为依据，尽管从历史角度来说，其他一系列重要实验也都是很好的论据。因此，这两本书正好可以补教科书的不足之处，它们将进一步加深读者对现代物理学的理解。

大家知道，相对论也是现代物理学的两大支柱之一。但

作者鉴于有关实验在有关书中已有详细介绍*,因此在两书中均未涉及。

书中大量引用原始文献,对每个关键性实验的全过程,它的历史背景及其理论结果,都作了详细描述,并对当时实验中所出现的各种问题和困难作了细致分析,有助于我们加深物理学是实验科学的认识,了解实验在物理学中所起的重大作用。同时从字里行间可以看到,物理学家在实验研究过程中长年累月,不分昼夜,不避寒暑,不畏艰苦地集中观察各种新现象,勇于攀登科学高峰的崇高精神,以及他们在工作中表现出来的严肃认真、实事求是的优良作风,这些都是值得我们学习的。

本书对研究工作者、大专院校师生和物理学史工作者以及对物理学发展有兴趣的读者,都是一本很好的参考书。

译文不当之处,欢迎读者批评指正。

* 例如 R. Katz: An Introduction to Special Theory of Relativity, Amsterdam, 1964.

序 言

物理学常常被称为实验科学。从长期从事于现代实验工作的物理学家看来,这种说法当然是对的;对于开始投身于物理实验的物理研究生,尤其是那些高年级学生,这一点也是相当明白的。但是,较低年级的学生,对这一点就不是那么清楚了。对他们讲述某个具体实验的机会是很少的,就是在这种时候,往往也只是几句带过,使得他们对于在实验时实际所涉及的东西几乎得不到什么启示。

这种情况在很大程度上是不可避免的,甚至也可以说是正常的。我们的科学是由许多实验结果构成的,对所有特定实验都要一一地作相当详细的描述,这是不现实的。但是,有必要用某些方式使学生们对实验工作的基本性质得到一些概念。一个有用的途径看来就是向他们介绍这里所说的“重要”实验,这些实验在我们对于自然界某个方面的认识,或者探索未知领域的能力上,标志着一个重大的转折。这本书就是这种想法的产物。

本书所包括的实验的选择,当然是带有任意性的。我决定将选择范围限于二十世纪,而且不考虑下面这些领域:相对论、纯粹核物理和早期的原子物理,因为它们已在另一本书中有个比较详细的论述*。但是,即使在这样的限制下,换一个人肯定还会作出多少有些不同的选择。我不准备对自己这种选择进行辩护。

* 此处指作者的另一本书《现代物理学中的关键性实验》,不久将由本社出版——编者注。

我试图把每一个实验按照它当时的物理学背景来介绍，说明它为什么正好在那个时候进行，又是如何进行的。我在追述历史时虽然尽力做到正确无误，但并不想冒充为历史学家，介绍每个实验的详细历史。（下略）

G. L. 特里格

目 录

第 一 章	X 射线的波动性	1
第 二 章	同位素	9
第 三 章	原子序数的含义	25
第 四 章	超导电性	37
第 五 章	液氮的奇异行为	56
第 六 章	核磁矩的精确值	84
第 七 章	氢光谱的精细结构	98
第 八 章	电子的磁矩	121
第 九 章	晶体管	135
第 十 章	一个守恒定律的否定	150
第十一章	辐射的无反冲发射与吸收	183
第十二章	中微子的真实性	196
第十三章	微波激励器和激光器	219
第十四章	“隧道效应”与超导电性	238
第十五章	基本粒子的更高对称性	274
第十六章	一条可能有宇宙学意义的线索	294
附 录 A	BCS 理论的历史背景和 内 容 简 介	304

第一章 X 射线的波动性

在历史上，象 X 射线那样迅速地被利用的发明，是很稀有的。伦琴在 1895 年发现了 X 射线，几个月之内，它们就被用于医疗诊断和金属铸件的检查。然而，X 射线真实的本质，却是差不多二十年以后才弄清楚。

关于 X 射线性质的问题，几乎从一开始就引起了广泛的争论。尽管 X 射线不受磁场的影响，许多科学家以及其他许多人仍然把它看作就是阴极射线，即低压气体中放电时从阴极发出的电子束。另一些科学家认为，它是“以太”的纵向振动；还有一些人猜想，它是具有类似于光的特性的横波。困难之点在于，X 射线的已知性质和它所产生的效应，看来同这些假说中的任何一种都不相符合。当这种射线射到物质上时，它被散射，就好象光受到液体云雾的散射一样。但它却不会发生折射或反射¹⁾。人们又试图用选择性吸收的办法使它产生偏振，就象使可见光通过电气石时那样，然而也没有成功。巴克拉(C. Barkla)在 1906 年用双重散射的办法演示了 X 射线的偏振²⁾，但许多人不相信，因为这样的实验引用自旋粒子也可以解释。正如在一个世纪前杨(T. Young)对于可见光所认识到的，波动性的真正试金石是干涉效应。但在这个方面的努力由于缺乏关于波长范围的知识，也受到了挫折。决定性的工作是 1912 年由劳厄(M. v. Laue)，弗里德里克(W. Friedrich)和尼平(P. Knipping)作出的。为此，劳厄获得了 1914 年的诺贝尔物理奖。本章就是描述他们的工作。这项成就最初是向巴伐利亚皇家科学院提出的，发表在它的

会议报告中，后来在《物理年鉴》(«Annalen der Physik»)上重新发表。

实际上，在他们之前也作过有关探测干涉现象的尝试。早在1899年，哈加(H. Haga)和温德(C. Wind)曾使一束X射线穿过一个三角形缝隙。如果X射线是波，它就应当受到缝隙边缘的衍射，从而在缝后某个距离处的照相底片上将形成一个比缝本身要宽的象³⁾；这样，根据加宽的程度以及仪器的尺寸，就可以估计出波长。哈加和温德断言，如果真存在干涉效应，波长也必定在大约 10^{-9} 厘米以下。沃尔特(B. Walter)和波尔(R. Pohl)在1908年重复了这一工作，结果更使人沮丧，他们得出的波长上限为 10^{-10} 厘米的数量级。然而，1912年索末菲(A. Sommerfeld)重新分析了他们的工作，科赫(P. Koch)对原始照相底片进行了光度测量，给索末菲的工作提供了帮助。结果，哈加和温德的结论获得了支持：没有得到存在波动的确实证据，如果存在波动现象，波长数量级一定是 10^{-9} 厘米。

劳厄所做的工作，就是使这些数据同由固体理论和原子论中得来的数据相吻合。首先，他知道，“早在1850年，布拉万斯(Bravais)已经将晶体中的原子排列成空间点阵的理论引入了结晶学。如果伦琴射线真的是电磁波，那么可以预期，当原子受到激发而振动时，无论是自由振动还是受迫振动，空间点阵结构都将导致干涉现象。”此外，“根据构成晶体的化合物的分子量、密度以及每克分子中的分子数，再加上结晶学方面的数据，将很容易计算出这个晶体的点阵常数。结果发现，它们的数量级正好就是 10^{-8} 厘米……。”如果X射线的本质真是一种波动，那么要使它产生明显的干涉现象，需要的正是这么大的点阵常数。

光学干涉理论的已知结果不能直接在这里引用，因为

“空间点阵呈现三重的周期性，而光栅只是在一个方向上，或者……至多是两个方向呈现周期重复，……这就造成了相当大的复杂性。”所以，劳厄假定以光速行进的入射平面波使每个原子都受到相同程度的激发，据此作出了 X 射线的干涉理论。在这里不必要涉及推导的细节；关键性的结果是，关于散射强度取极大值的方向，他得出了三个方程。每一个方程“代表一组圆锥，它们的轴同空间点阵的基本单元的一个边相重合。”“所以很显然，只有在个别情形下，才会发生一个方向同时满足全部三个条件的情况。……尽管如此，当前两组中的两个圆锥的交线靠近第三组中的一个圆锥时，将可期望得到可见的强度极大值。”如果散射射线射到平的照相底片上，这些极大值将形成孤立的斑点，但它们应沿着圆锥曲线族分群集合⁴⁾，更具体地讲，它们将位于分属于三族圆锥曲线的三条曲线的交点处或交点附近。

“必须指出，将一个给定的空间点阵分划为单位平行六面体的方法并不是唯一的，而是有无数种方法进行分划。……根据前面的论述，强度极值的分群，一定能够按相互交截的、由于分划法不同而得出的不同轴线的圆锥曲线进行；因为一般说来，对应于每一种分划方法，都有一种对极值分群的方式。”

在劳厄的建议下，弗里德里克和尼平进行了实验试验。“用一台临时的仪器作了一些初步的研究之后，”他们建造了如图 1.1 所示的仪器。“从伦琴管的对阴极 A 发出的伦琴射线被光阑 B_1 至 B_4 阻挡，只让通过直径约为 1 毫米的细射线束，这束射线透射过置于测角器 G 上的晶体 Kr。围绕着晶体，在不同方向和不同距离处安置着照相底片 P，它们记录了由晶体所发出的次级辐射的强度分布。这个装置用一个铅屏 S 和铅盒 K 保护起来，很好地防止了外界辐射的进入。

“整个实验设备的安装试调，是用光学方法来实现的。我

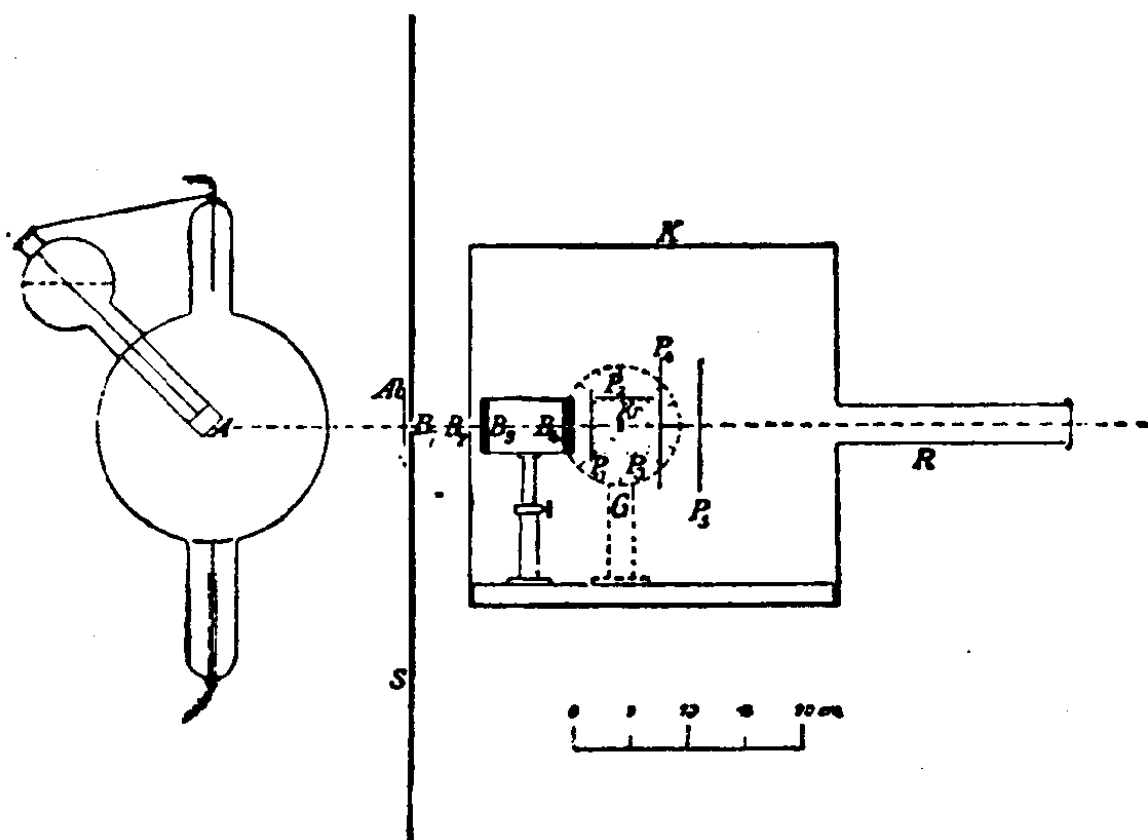


图 1.1 弗里德里克和尼平用来研究穿透晶体的 X 射线的散射的设备

们将一台高差计固定起来，高差计的望远镜装有叉丝。然后依次将对阴极的‘热点’、光阑和测角器的轴同望远镜的光轴相对准。……光阑 B_1 到 B_3 主要阻挡管壁发出的次级辐射，而 B_4 则限定射到晶体上的伦琴射线束。 B_4 是在一块 10 毫米厚的铅盘上的钻孔，其直径一般为 0.75 毫米，可用三个定位螺丝(未画出)调节，使得小孔的轴同望远镜的轴或射线束的轴精确重合。这样，可使一束具有圆形截面的射线射到晶体上。……管子 R 的作用是……尽可能避免落在盒子后壁上的初级辐射所产生次级辐射的影响。”

“这样调整好以后，……按通常方法使测角器轴同射线路径垂直。各个底片架用同样方法进行调节。……当仪器的取向调整到这一步时，就可将已经用少量石蜡固定在测角器台上的待辐照的晶体安置定位，这一工作还是借助于上述的望远镜进行的。……这样我们就能把这种必需的调节做到精确

度在1分以内。”

这样最后完成的仪器进行的第一次曝光用的是已经在初步研究中用过的“次等的”硫酸铜晶体。这次曝光在底片 P_4 和 P_5 上得到的图样如图1.2所示。“值得注意的是，晶体至 P_4 和晶体至 P_5 这两段距离同 P_4 和 P_5 上图形的大小成正比，根据这一点可以肯定射线是以直线从晶体射出的。进一步又可以看到，尽管底片 P_5 到晶体的距离比 P_4 的要大，各个次级斑点的大小却保持不变。这一点可作为肯定的证据表明，产生这些斑点的次级射线离开晶体后是平行光束。”

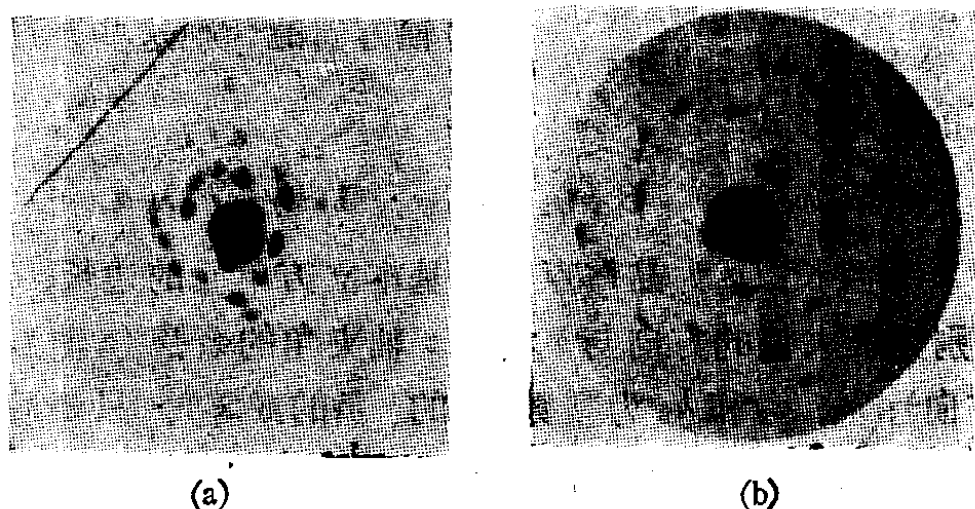


图 1.2 第一次曝光得到的两帧图形
(a) 是图 1.1 中 P_4 上的，(b) 是 P_5 上的。

“如果所用的晶体的晶系比三斜晶系的硫酸铜更为规则（即立方晶系），那么预期现象将更为明晰并易于理解；因为可以肯定地说⁵⁾，这种空间点阵是最为简单的一种。规则的闪锌矿看来很适合我们的目的。……我们平行于一块良好的晶体的立方体表面（垂直于结晶学主轴），切割一片 10×10 毫米大小、0.5 毫米厚的平行平面薄片，……晶片放置的取向……应使得初级射线穿过它时垂直于立方体表面。图 1.3 是这样一次试验的结果。次级斑点完全对称地分布在未散射束位置的周围……（呈现四重对称性），无疑是晶体空间点阵的

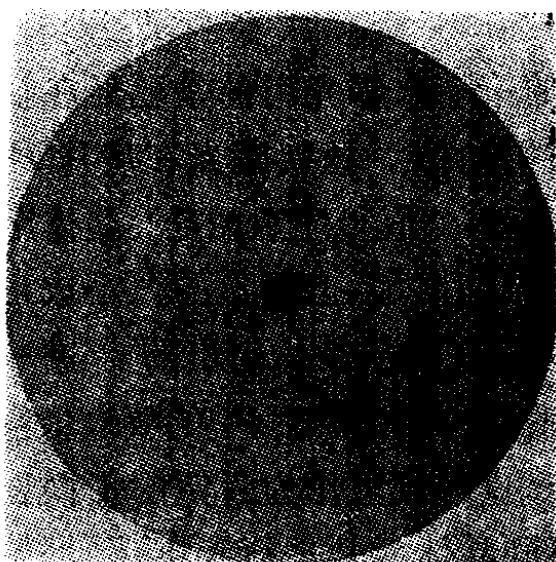


图 1.3 通过硫化锌晶体后
X 射线产生的斑点图样

最美妙的证据，而在这里除了空间点阵以外没有任何别的性质在起作用。”

劳厄在不久以后发表的一篇论文中包含了更细致的分析。前面已经指出，劳厄已经推导出关于极大值方向的方程。在立方晶体的情形下，如果入射束是沿着主轴方向的，则这些方程应取

如下的简单形式：

$$\alpha = h_1 \lambda / a, \quad \beta = h_2 \lambda / a, \quad 1 - \gamma = h_3 \lambda / a, \quad (1.1)$$

其中 λ 为波长； a 为晶体点阵的基本立方单元的边长； α, β, γ 分别为极大值的方向与 x, y, z 轴夹角的余弦（ z 轴为入射束方向）； h_1, h_2 和 h_3 为整数（正的、负的或零）。只要适当选择三个 h 的值，并假定辐射包含五个分立的波长，他便能够说明图 1.3 中的所有各个点。

劳厄的分析很快就受到了布拉格 (W. L. Bragg) 的评论，布拉格指出，有几组 h 值对于五个波长中的某一个也是满足方程 (1.1) 的三个方程的，但是它们的斑点却并没有出现。布拉格提出另一个解释：入射辐射的波长是连续分布的，而强度极大并不是由来自各个原子的射线束的干涉所造成，而是从平行平面族反射的射线束发生干涉造成的。只要波长 λ ，入射束同平面法线的夹角 θ 和同一族各平面之间的间距 d 满足方程

$$n\lambda = 2d \cos \theta,$$

上述过程便将产生极大，这里 n 为正整数。布拉格始终取

$n=1$. 斑点的分立性是因为在晶体点阵中只能形成分立的原子平面族. 事实证明, 布拉格的分析比劳厄的分析要令人满意得多, 它不仅解释了斑点的位置, 而且也定性地解释了它们的强度; W. L. 布拉格和他的父亲 W. H. 布拉格勋爵很快就将它用来对 X 射线和晶体作进一步研究.

事实上, 劳厄在他的第一篇论文中曾说过, 他的计算同实验相符合“并不掩盖这样的事实, 即我们的理论在每个方面都可以有所改进.” 但是基本结论是定性的结论, 它们是不会因分析的细节而改变的. “强度极大十分明晰, 这明显地证明了离开晶体的辐射具有波动的特性, 把它当作一种干涉现象, 就可以很容易地理解, 而从微粒概念出发, 却是很难理解的. ……尽管如此, 有人也许会怀疑初级射线的波动性. 我们也可假定晶体的原子……受到微粒性辐射的激发. ……在这种情况下, 只有那种被相同粒子击中的原子才会发生相干振荡. ……从而……关于强度极大值我们只能得到一个条件, 而且, 根据对称性可以明显看出, 在以初级射线的冲击点为中心的圆上, 这个条件应该都可以得到满足. 而事实上出现的这个圆却是非连续的, 这样就不可理解了. 此外, 初级射线同来自晶体的射线从各种表现看来是如此相似, 以致我们从前者的波动性来推断后者的波动性从道理上看来也是可行的.”

注 释

1) 1923 年获得了反射现象. 但即使在当时也不是一般认为的那种可见光的反射, 而是通常称为全“内”反射的那种特殊类型的反射, 并且只是当入射束接近掠射时才会发生.

2) 对这个实验可用电磁波横波描述阐明如下: 一束未偏振化的射线以 45° 角射到散射表面上. 射束离开表面也是 45° , 从而与入射束成直角, 它至少会发生部分偏振 (偏振的程度取决于散射面的光学性质), 偏振的电矢量有同散射面相平行的倾向. 这样, 再经过一次 90° 散射后得到的最终强度将在很大程度上

依赖于最终射线束相对于中间射线束的方位角。特别是当最终射束既垂直于初始射束又垂直于中间射束时,强度将最小;而当最终射束平行或反平行于初始射束时,强度最大。

3) 之所以用一个三角形的缝隙有两方面的原因:第一,前面说过,由于不知道波长,所以用直缝的话,合适的宽度也无从知道;第二,象的变宽在三角形顶点附近比在三角形底部附近要大,也更容易测定。

4) 圆锥曲线是平面同圆锥交截而成的曲线,圆锥曲线包括圆、抛物线、椭圆和双曲线。

5) 只有在这里叙述了这一工作以后,阐释若干晶体的结构才成为可能。

(华新民译)

文 献 说 明

原始文献是德文: W. Friedrich, P. Knipping, and M. v. Laue, *Sitzungsberichte der königliche Bayerische Academie der Wissenschaften, Mathematische-Physikalische Abteilung* 1912, 303; M. v. Laue, *ibid.*, 363. 上述第一篇文章曾节译载于 *World of the Atom*, vol. I, p. 832. 这些文章经“稍加修改”,重行发表: W. Friedrich, P. Knipping, and M. v. Laue, *Annalen der Physik* 41, 971 (1913); M. v. Laue, *ibid.*, 989. 不过,在重印中,图版 I 中图的编号与原始文献及正文中的编号相比较是颠倒了,参看 W. Friedrich, P. Knipping, and M. v. Laue, *Annalen der Physik* 42, 1064 (1913).

Laue 在他的诺贝尔奖演说中描述了这项工作的发展,见 *Nobel Lectures*, vol. I, p. 347.

Bragg 的分析表述于下文中: W. L. Bragg, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* 17, 43 (1912). W. L. Bragg 和他父亲的工作使他们合获诺贝尔奖;参看他的演说,载于 *Nobel Lectures*, vol. I, p. 370.

L. Muldower 给出有关 X 射线供进一步阅读的附有说明的书目: *American Journal of Physics* 37, 123 (1969).

第二章 同 位 素

十九世纪中叶，盖斯勒的汞位移泵和法拉第的感应线圈两项发明结合起来，使控制条件下的放电得以实现，从而使人们对于气体放电现象的兴趣有了实际的意义。从那时以来，这个问题一直是引人注意的课题。气体放电对于照明有重要意义，我们生活中到处是这方面的例证。大约从1950年起，气体放电有可能实现核聚变动力方面的重要性，已使它成为人们特别关心的题目。然而，我们关于原子的许多知识，在很大程度上是通过气体放电这种手段获得的，这一点也许尚未为人们普遍认识。在光谱研究中，它被用作光源；通过电子的发现，它提供了第一个确实的证据，证明原子不是不可分的；伦琴发现X射线的时候，所研究的对象实际上就是气体放电；还有在研究它的一个侧面，即正射线的时候，汤姆森(J. J. Thomson)爵士发现了第一个清楚的迹象：一种给定的化学元素，其原子并非都是完全相同的。这一章所叙述的就是这项发现。

在1886年，戈尔茨坦(E. Goldstein)发现，在一个放电管中，如果在阴极上开孔，那么，在阴极的后面，也就是放电的另外那一侧，会出现发光的射流。他把这些发光射流称做沟道射线，因为相对来说阴极板比较厚，而在上面开的孔则很小。但是可供他使用的磁场还不能使这发光射流偏转。1898年威恩(W. Wien)成功地使射线发生了磁偏转。这不仅确定了它们是带正电的；也使他能估计出它们的电荷对质量之比¹⁾。他所得到的数值，和电解中带电载流子的数值是同一个数