

斯 特 恩

I. Estermann

奥托·斯特恩(Otto Stern)1888年2月17日生于德国上西里西亚索赫罗 [Sohrau, Upper Silesia (现波兰 Zory)]; 1969年8月17日死于美国加利福尼亚州的伯克莱,物理学家。

奥托·斯特恩父名奥斯卡·斯特恩,母名尤根奈·罗森德鲁,是五个孩子(两个男孩、三个女孩)中最大的一个。在学龄前他全家迁到布雷斯劳 [Breslau, 现波兰弗罗茨瓦夫 (Wroclaw)]。在那里的约翰内斯预科学校,斯特恩受了初等和中等教育。1906年毕业后,他在弗赖堡 (Freiburg) 大学的布里斯库 (Breisgau)、慕尼黑和布雷斯劳各地分校继续学习,于1912年获得该校物理化学方面的博士学位。

斯特恩的父母是富裕的犹太粮商兼面粉磨坊主。他们乐于满足孩子们的求知欲而无需担心职业问题。甚至当斯特恩在预科学校学习时,虽然那里强调古典文学而不重视数学和科学,在课余他仍然阅读了他父亲让他自己选读的各种书籍。在大学学习期间,他对若干科学领域都进行了探索,最后才决定了主攻方向。这种学习途径与第一次世界大战前德国的学院式传统一致,那时有钱的年青人可以从一个大学转到另一个大学,听各种学科的讲学,而不过问规定课程的安排以及完成升级要求所需的时间。这样,斯特恩听了当时最著名的讲师索末菲 (Arnold Sommerfeld) 的理论物理课,以及奥托·陆末 (Otto Lummer) 和恩斯特·普林西姆 (Ernst Pringsheim) 的实验物理课,后两人在黑体辐射方面的精深研究颇负盛名。

与正规学习相比较,斯特恩的真正兴趣更多地还是从课外阅读激发起来的。玻耳兹曼关于分子理论和统计力学方面的书籍以及克劳修斯 (Clausius) 和能斯特 (Nernst) 关于热力学方面的书籍对于斯特恩选择自己一生的道路具有重大的影响。在返回布雷斯劳去完成他的大学学业时,他决定专攻物理化学,因为物理化学系

的两位教授 R. 阿贝格 (Abegg) 和 O. 塞克库 (Sackur) 比起物理系的教授们更关心他在热力学和分子理论方面的兴趣。他那篇浓溶液中二氧化碳渗透压的博士论文既有理论又有实验,形成了他后来的研究风格,用他自己后来的话来说,就是“实验理论家”的风格。

斯特恩的科学活动可分为两个不同的时期: 1912—1919年理论研究时期和1919—1945年实验研究时期。在前一时期,他由于与爱因斯坦的接触而受到强烈影响。在布雷斯劳毕业后他立即到布拉格作了爱因斯坦的超博士研究副手,并于1913年随爱因斯坦迁到苏黎世;在苏黎世他认识了厄任费斯脱 (Ehrenfest) 和劳厄,也很受他们的影响。另外一位对他影响稍小一点的是玻恩,1919年他回到法兰克福以后才开始与玻恩合作的。在那些年里,由于经济上的无虑,他可以自由选择工作地点而不需考虑能否得到有报酬的职位。1913年他在苏黎世获得联邦技术学院的“荣誉提名”,1914年荣誉提名又被转到法兰克福大学,从而他得到“无职讲师”的资格,有权在大学里不领薪金而开课。从1914年8月第一次世界大战爆发到1918年德国失败,这段时间内他一直在德国军队里服务,在军队的各种技术部门里,先当士兵,后任军士。复员后他回到法兰克福。

这一时期可以称为斯特恩的“见习与徘徊年代”。虽然在这一时期斯特恩发表的文章不可忽视,但最重要的成果还是他对研究课题的选择形成了一定的态度。斯特恩对本文作者说,那时爱因斯坦在完成相对论方面的惊人成就对他的吸引力并不如爱因斯坦在分子理论方面的工作,特别是把当时人们尚不十分理解的量子概念用来解释晶体比热的奇怪温度特性这一点对他的吸引力大。

斯特恩与爱因斯坦早期合作发表过一篇关于这个问题的某一方面的文章,即存在所谓零

点能的问题：在绝对零度时物体中的原子究竟是静止的还是以 $h\nu/2$ 的能量在平衡位置附近振动？不过斯特恩从爱因斯坦那里真正学到的却是对当时各种物理问题的重要性的估价以及究竟应该探索哪些问题，和在一定的时期究竟应该进行哪些实验。他与爱因斯坦的交往发展成为终生友谊并对他后半生事业的主要成就播下了种子，终于在 1943 年赢得了诺贝尔物理学奖金。

在 1912—1918 年间斯特恩的工作集中于统计热力学方面的各种问题。这期间他所发表的论文中有两篇值得提一下，其中一篇是由于论文本身的科学价值，另一篇则是由于写这篇论文的不寻常的环境。第一篇涉及单原子气体的绝对熵。经典理论得到的气体熵的表示式中包含一个不能估算的任意常数，而这一常数又对诸如固体的蒸汽压或反应气体的化学平衡等性质影响颇大。这个常数的重要性已由能斯脱在阐述热力学第三定律（亦称能斯脱定理）时指出。

显然，量子理论是解决这一问题的关键，但是，当时尚未找到把量子概念应用于理想气体的方法。奥托·塞克库（Sackur）和底特罗德（Tetrode）已经发表了一些文章，给出了熵常数的理论表示式，他们的结果虽然正确，但是他们的推导的正确性却不能不受到批评。斯特恩考虑了高温下固态晶体与其蒸汽的平衡，从而回避了需要把量子理论应用于气体。在这些条件下，对气体应用经典统计力学是完全正确的，量子概念只用于固体，量子理论对固体提供有指导意义的结果。斯特恩利用爱因斯坦的比热理论和能斯脱定理得到了与塞克库和底特罗德同样的结果，而这种推导是无可指摘的。

在第二篇论文的前头带有“俄属波兰罗姆沙（Lomsha）”字样，或许这是从小城镇创作出的唯一一篇科学论文。1916 年斯特恩在这里当军事气象观测员，他的职责是一天两次记录几台仪器的读数，这使他有很多空闲时间。为避免无聊，斯特恩处理了计算耦合质点系统的能量这一冗长问题，全部计算都是手算的。

在战争的后一阶段，许多德国物理学家和物理化学家都被分配到柏林大学的能斯脱实验室从事军事研究。在那里斯特恩遇到两位优秀的实验工作者，詹姆斯·夫兰克（James Franck）和马克斯·沃尔默（Max Volmer）。很可能斯特恩的由理论工作转到实验工作是受这两位科学家的影响，这两位科学家也成为斯特恩的终生朋友。

斯特恩回到法兰克福以后继续进行类似的理论工作；他与理论物理所所长玻恩一起发表了一篇关于固体表面能的文章（斯特恩也在该研究所）。不久，斯特恩感到有必要从实验方面对分子理论中所用到的基本概念加以证实。为此，他开始研究分子束方法。1911 年杜诺依尔（Dunoyer）证实了在高真空室内引入的原子或分子将沿直线轨道运动而形成粒子束，它在许多方面与光束相似。杜诺依尔的工作实际上已经被人们忘记，直到斯特恩才认识到这是研究自由原子性质的一个强有力的工具。从此开始了斯特恩科学生涯的第二个阶段，使他在物理学史上获得了荣誉地位。

分子束方法的第一个应用仍然集中在分子理论，即测量气体中的分子速度。这些物理量早在 1850 年左右就有人从理论上计算过；计算结果虽然一般能被人接受，但是还没有能成功地提供实验证据。1919 年斯特恩利用银原子束完成了一个漂亮的实验，并在实验误差范围内证实了理论值。尽管是一项很高的成就，但仍然不能说是震惊世界。它的真正重要性在于表明了分子束方法的实用性，从而促进了这一方法的进一步应用。（在这项工作中可以清楚地看到爱因斯坦关于如何辨别出真正重要问题的教导）。

那时玻尔的原子理论已有了迅速进展，特别是索末菲断定某些原子，例如氢原子、碱金属原子或银原子等，应该具有大小为

$$M = \frac{eh}{4\pi mc}$$

的磁矩，其中 e 是电子电荷， m 是电子质量， c 是光速， h 是普朗克常数。并且，如果把这种原

子放到磁场中,它应该只取两个不同的取向,原子轴和磁矩与磁场方向平行,或与磁场方向反平行。(第三种可能的取向,即磁矩垂直于磁场的情况由于特殊的选择定则是禁戒的。)第一个结论固然与经典理论相适应,而第二个结论则不然。那时很少有物理学家真正相信这种空间量子化。斯特恩认识到分子束法对此问题能够给出是与否的明确答案:如果经典理论正确,那么通过非均匀磁场的一窄束银原子应当加宽;而如果空间量子化理论是正确的,那么银原子束应分裂成两条彼此分开的原子束。

这个概念上简单的实验在1920年是容易执行的。与设计实验相反,在实验技术操作上斯特恩并不熟练,于是他邀请法兰克福实验物理研究所的一位同事革拉赫(Gerlach)参加这项工作。他们一起成功地证明了空间量子化的真实性并测量了银原子的磁矩。五篇这方面工作的论文不久被称为斯特恩-革拉赫实验而受到广泛的重视,从而在物理学家中树立了斯特恩的地位。

1921年当这些实验已实际完成时,斯特恩第一次正式接受了大学职位作为罗斯托克大学理论物理副教授。在这里作者开始与他共事,当时作者刚在斯特恩的朋友马克斯·沃尔默指导下完成了自己的博士学位。在那个时候,罗斯托克大学的聘任只不过是更高发迹的阶梯而已。不久,斯特恩就被汉堡大学聘为物理化学教授和尚特设立的物理化学研究所所长。这期间斯特恩和作者以及后来参加进来的几位助教、客座超博士和一些研究生被安排在实验物理所。

1923—1933年标志着斯特恩对物理学的贡献的顶峰。1923年1月1日在汉堡大学就职后不久,他就着手建立了一个专为分子束研究而装备起来的实验室,并着手制定了进行这项研究的计划。后来基本上是按计划进行的而且获得了显著成功。计划的第一部分是设法完善和扩展斯特恩先前的工作,同时发展新的和改进的技术。计划的第二部分是论证粒子的波动性,这是1924年德布罗意引入的革命性的假

设并成为现代量子力学的基础。计划的第三部分是测定质子和氘核的磁矩。关于粒子波动性这一工作的意义可以说是与斯特恩-革拉赫实验的意义相仿:二者都是对物理学基础中所引入的革命性概念提供了直接的、毫不含糊的、而且是有充分说服力的证据。这些实验对使人接受这些新概念是必不可少的,在这些实验作出以前人们对这些新概念是相当怀疑的。

斯特恩计划的最后一部分却具有完全不同的结局。狄拉克曾发表过一个理论,认为质子磁矩与电子磁矩之比应等于它们质量比的倒数。当时人们是如此广泛地相信这一理论,甚至当斯特恩、弗里希(O. R. Frisch)和作者开始进行这个非常困难的实验时,一些著名的理论家不止一次地告诫我们不要白白浪费时间和精力。但是斯特恩的坚定不移收到了效果。测量结果表明,质子的磁矩比预期的数值要大2或3倍。以后的实验又以更高的精度重复了上述结果,但是令人满意的理论解释至今尚未得出。在斯特恩的诺贝尔奖金的引证中还特别提到了这项工作。

1933年纳粹上台,在汉堡进行的工作遭到突然终止。斯特恩的几位最亲密的犹太血统同事突然被解雇。为了抗议,在预见到自己被解雇之前,斯特恩提出辞职。斯特恩和作者应邀到美国的卡内基理工学院(Carnegie Institute of Technology),在那里他们又开始建立分子束实验室。斯特恩受聘为物理学研究教授,但是在那大萧条的年代里,他所能随意使用的资金相当贫乏。虽然在卡内基完成了一些有意义的论文,然而,汉堡实验室的那种势头始终未能恢复。1946年斯特恩退休后迁到加利福尼亚州的伯克莱,在那里他继续与当地的物理学家保持一些联系,但是避免公开露面。他因心脏病发作于1969年8月17日去世,享年八十一岁。

斯特恩是国家科学院和美国哲学学会的成员,这是他获得诺贝尔奖金后于1945年加入的。他还是丹麦皇家学院的成员并曾获得加利福尼亚大学和苏黎世联邦技术学院的荣誉博士学位。

文献

(1) 初期工作

在埃斯特门 (Estermann) 的书(见下文)中列有斯特恩与他的同事在 1926 至 1933 年所发表论文的完整目录. 他的关于单原子气体绝对熵的早期论文见《Physikalische Zeitschrift》, 14 (1913) 629—632. 关于耦合质点系统能量的研究报告见 Annalen der Physik, 4th ser., 49 (1916), 823—841. 正文中引述过的随后的工作见 Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (1919), 901—913 (与玻恩合作); 以及见《Zeitschrift für Physik》2 (1920), 49—56 和 3(1920), 417—421.

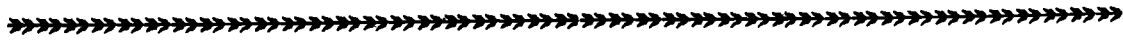
斯特恩-革拉赫实验的结果见前述刊物 7 (1921), 249—253; 8(1921), 110—111(与革

拉赫合写); 9(1922), 349—352 (与革拉赫合写); 9(1922), 353—355(与革拉赫合写)以及 Annalen der Physik, 4th ser., 74 (1924), 673 (与革拉赫合写).

斯特恩的诺贝尔奖金演讲“分子射线方法”收于《1942—1962 诺贝尔演讲集(物理学)》(阿姆斯特丹-伦敦-纽约, 1964) 8—16, 传记在 17—18.

(2) 间接文献

见埃斯特门所著《新近对分子束的研究》一书中的“1922—1933 年汉堡的分子束研究”(纽约-伦敦, 1959), 1—7, 附有参考文献. (闵宁译自 Dictionary of Scientific Biography, 原作者: I. Estermann, 纽约, 1975 年版, 第 12 卷, 40—43 页)



(上接封三)

以看成为一些束缚态的叠加. (5分)

(2) 假设一个自由粒子在 $t = 0$ 时处在 $\psi = AY_{0,0}$ 态 ($Y_{0,0}$ 是球谐函数 $l, m = 0, 0$), A 是常数, 求 t 时刻的波函数. (4分)

(3) 求证宇称算符 \hat{P} 是么正的和厄密的. (5分)

6. 设一个物理体系, 它的状态空间是四维的, 在四个标准正交基 $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ 下, 它的哈密顿算符的表示矩阵是

$$H = \hbar\omega_0 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \end{pmatrix}$$

设 $t = 0$ 时体系的波函数是

$$\vec{\psi}(0) = \frac{1}{\sqrt{12}}\psi_1 + \frac{1}{\sqrt{6}}\psi_2 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\psi_3 + \frac{1}{2\sqrt{2}}\psi_4,$$

(1) 求 $t = 0$ 时, 测量体系的能量有哪些可能值, 并计算相应的几率.

(2) 求出 t 时刻的体系状态波函数 $\vec{\psi}(t)$.

(12分)

7. 设 $\chi_{1/2}$ 和 $\chi_{-1/2}$ 分别为自旋算符 \hat{S}_x 的两个本征态: $\hat{S}_x \chi_{\pm 1/2} = \pm \frac{\hbar}{2} \chi_{\pm 1/2}$. $Y_{l,m}$ 为球谐函数. 今

写出 $\vec{\psi} = \chi_{1/2} Y_{3,3} + \chi_{-1/2} Y_{3,-3}$, 问 $\vec{\psi}$ 是不是轨道角动量算符 \hat{L}^2, \hat{L}_z ; 自旋算符 \hat{S}^2, \hat{S}_x 以及总角动量算符 $\hat{J}^2 = (\hat{L} + \hat{S})^2, \hat{J}_x = \hat{L}_x + \hat{S}_x$ 的本征态? 如果是的话, 问相应的本征值是多少? (8分)

(以上 7 题, 共 100 分)