

物理学史中的五月

1948年5月29日 预测卡西米尔效应的论文发表
(译自 *APS News* 2012年5月)



萧如珀¹ 杨信男² 译

(1. 自由业; 2. 台湾大学物理系 10617)

一般人不会马上认为壁虎的脚如何黏附在表面上,以及微小的纳米器件常因摩擦而故障,两者之间有关联性。前者牵涉到分子吸引的特性,而后者则是由空无一物的空间中量子力的“黏性”所引起。然而,两者皆根源于范德华 (Johannes Diderik van der Waals) 和卡西米尔 (Hendrik Casimir) 两位荷兰人的研究。

范德华是家中10个小孩的老大,父亲是荷兰莱顿城(Leiden)的一位木工,出身工人家庭意味着他无法接受一般要进入大学所需的正规教育。然而,他却也接受了不错的小学教育,成了老师的学徒,最终当上小学校长。他还利用一个特别的规定到莱顿大学的物理、数学和天文课程注册,虽然他不能录取成为正式的学生。当荷兰政府创立新式的中学来教育中产阶级的小孩,范德华取得了在这些中学任教的资格。

一直到1866年止,范德华都在海牙教书。由于特许免除必修古典语言,所以范德华终于可以成为附近莱顿大学的正式学生,并通过了物理和数学的博士资格考试。他于1873年完成博士学位,论文研究气态和液态的连续性,在论文中他首先提出假如分子的距离很接近的话,即使没有电荷或磁偶极矩,都会互相吸引的概念。

范德华继而当上了荷兰阿姆斯特丹市立大学的教授,并于1910年72岁时获得诺贝尔物理奖。



卡西米尔(左)和韦斯科普夫 (Victor Weisskopf)于1934年

那时卡西米尔是一个居住在海牙的9岁小孩,他长大后跟着当时最伟大的物理学家学习,钻研范德华有关分子吸引的概念,以及弗里茨·伦敦 (Fritz London)于1930年对于范德华力提出量子力学解释的研究。

卡西米尔于1931年获得莱顿大学博士学位,指导教授是理论物理大师艾伦费斯特(Paul Ehrenfest),论

文研究刚体自转和分子转动的量子力学。其间他赴哥本哈根开会时结识了玻尔^①(Niels Bohr),受到很大的激励。之后,他去苏黎世当泡利^②(Wolfgang Pauli)的助理一年,回荷兰后先在低温物理重镇昂内斯^③实验室(Kamerlingh Onnes Laboratory)研究超导现象,接着于1938年去莱顿大学当教授,持续研究低温热和电的传导。

卡西米尔在莱顿大学的日子因1942年第二次世界大战爆发,大学关闭而中断。他乃应聘至爱因荷芬(Eindhoven)的飞利浦实验室(Philip Research Laboratories),并在1946年接任三个研究部门之一的物理主管。他在那里要处理的一个问题是疏液胶体的稳定性。因为在制造电灯泡和真空管时,需要在玻璃内面涂上一层均匀乳胶,均匀的稳定性系于胶体粒子间作用力的微妙平衡。飞利浦的化学家们以伦敦-范德华作用力为起点,研究颗粒悬浮于胶体的现象,发现结果与实验有异,且差异可由将伦敦-范德华中引力位能的远距行为与距离的六次方成反比调弱为七次方加以解释。飞利浦的化

学家欧弗比克 (J.T.G. Overbeek) 猜测它可能源自推迟效应。

卡西米尔和学生波耳德 (D. Polder) 以量子电动力学计算两个中性原子的位能, 果然发现推迟效应会将位能的远距行为减弱为与距离七次方成反比, 并于 1948 年 2 月发表在《物理评论》上。之后卡西米尔进一步推理说, 上述结果实源自电磁场的零点能前后发生变化, 并以古典电动力学计算两个平行理想导体板间零点能的变化, 得出二个平行中性的金属板之间会有微弱的相吸力的结论。卡西米尔将此意想不到的现象发表在 1948 年 5 月 29 日出版的荷兰皇家艺术与科学学院院刊, 现在大家将之称为卡西米尔作用力。

零点能的观念源自量子力学。譬如说在绝对零度下, 组成的分子如果都静止不动, 那就违反测不准原理。量子场论中, 真空并不是空的, 虚粒子会突然出现, 又一样快速突然消失——快到无法察觉。也就是说, 量子系统基态能量不会为零。卡西米尔采用古典电动力学计算两个平行理想导体板间零点能的变化, 得出金属板之间会有弱引力的结论, 主要是因为在此情况下, 只需计算平行板间的电磁场振荡的正规模数目。

两片中性平行理想导体板间会有弱引力的结论, 令人匪夷所思, 如果可以证实, 肯定令人振奋, 所以许多实验物理学家都努力尝试; 但实验很难, 因为并不存在着理想导体这样的材料, 且要做到完美的平行排列也很难。早期实验最好的测量, 例如 1958 年卡西米尔在飞利浦的同僚斯巴内 (Marcus Sparnaay) 所做的实验, 皆是在理论预测值的 15% 内, 未能完全证明此理论正确。

数十年来此理论一直是吸引人的实验挑战, 虽然理论方面也一直有进展。1956 年, 里弗西兹^④ (Evgeny Lifshitz) 将卡西米尔的理论和伦敦早期的研究整合在一起, 在分析中加入更实际的物质特性, 而非那不可得的理想导体。终于在 1996 年, 一位美国华盛顿大学的年轻科学家拉莫罗克斯 (Steve Lamoreaux) 成功地做了实验, 很灵敏地测出卡西米尔效应, 是在预测值的 5% 之内。

虽然卡西米尔效应在大尺度方面不重要, 然而它在次微米的范围却是主导的力量, 例如在微机电系统 (MEMS) 中, 它会让超级小的组件黏在一起, 而要将间隔仅 10 纳米黏着的金属板分开, 需要使用效果约和 1 大气压相当的力。因此, 纳米尺度科技要有更进一步发展, 处理卡西米尔效应是必要的。

圣安德鲁斯大学 (University of St. Andrews) 的研究员曾建议说, 也许可以巧妙地处理卡西米尔效应, 只要简单地在两个组件中间放置一个特殊设计的镜片, 如此“吸附”就会成为斥力。这样, 微机械的零件就会悬浮着, 解决摩擦的问题。

译者注: 原文有关卡西米尔效应的内容有误, 译者已加以更正重写。

① 波尔 (Niels Bohr, 1885-1962): 丹麦理论物理学家, 1922 年因发展出原子的波耳模型而获得诺贝尔物理学奖。

② 泡利 (Wolfgang Pauli, 1900-1958): 奥地利理论物理学家, 1945 年以不相容原理而获得诺贝尔物理学奖。

③ 昂内斯 (Kamerlingh Onnes, 1853-1926): 荷兰物理学家, 1913 年因发现超导现象而获得诺贝尔物理学奖。

④ 里弗西兹 (Evgeny Lifshitz, 1915-1985): 著名苏联理论物理学家。

(本文转载自台湾大学科学教育发展中心“CASE 报科学”, 网址 <http://case.ntu.edu.tw/blog/?cat=3145>)

