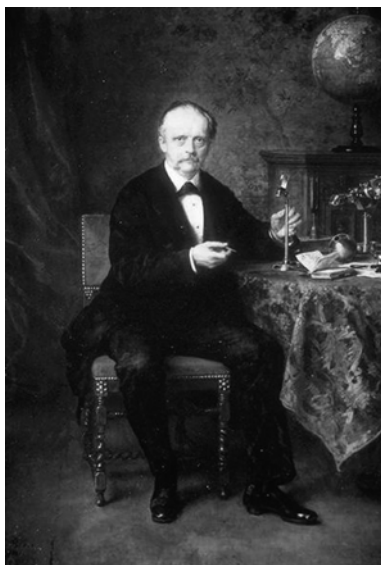


# 亥姆霍兹与德国物理科学的兴起

朱崇开

19 世纪下半叶是德国人为之骄傲的黄金时代，而这一时期作为“德国科学的帝国首相”的亥姆霍兹（Hermann von Helmholtz）是德国科学界毋庸置疑的领袖人物。有人曾形容“作为君主和工业家、艺术家和社会哲学家、科学家和政府官员们的知己，亥姆霍兹是强大的德国科学界的政治乃至精神领袖。”在 19 世纪最后 1/4 个世纪里，亥姆霍兹受到人们普遍尊崇，即使是对他的工作一无所知的人也是如此，颇有点像 20 世纪的爱因斯坦。



亥姆霍兹 1821 年出生于德国的波茨坦，父亲为当地人文中学的校长。博学多识的父亲不仅向小亥姆霍兹介绍了黑格尔和康德的思想，还教他学习拉丁文、希腊语、希伯来语、法语、英语、阿拉伯语和意大利语。1838 年，亥姆霍兹来到柏林的皇家医学和外科研究所学习医学，并在毕业后担任军医。由于杰出的研究工作，亥姆霍兹于 1848 年提前离开军医职位而正式进入学术界。亥姆霍兹先后在柏林艺术学院、柯尼斯堡大学、波恩大学、海德堡大学和柏林大学任教，并于 1887 年成为新成立的帝国物理技术研究所首任主席。亥姆霍兹可以算是 19 世纪最伟大的博学者，他在医学、生理学、物理学和化学、音乐和哲学等诸多方面做出了杰出贡献；他对旋风、雷暴、空气和冰河的研究奠基了气象学基础；他在认识论方面的贡献，使得他成为 19 世纪最伟大的科学哲学家之一；他还是现代物理学在理论、实验和高技术应用方面的奠基人。

## 一、亥姆霍兹与能量守恒定律

亥姆霍兹最为后人熟知的也许是他对能量守恒定律的贡献。能量守恒定律是 19 世纪最重要的科学发现之一，作为牛顿力学体系建立以来物理学第二次理论大综合，能量守恒定律揭示了热、力学和电学等各种运动形式之间的统一性，它还直接引起一门新学科——热力学的建立。而热力学可以说主要是凭借德国科学家一己之力完成的，迈尔和亥姆

霍兹等人是其主要缔造者。作为现代物理学的基本原则之一，能量守恒定律的发现过程充满了戏剧性。

德国医生迈尔是历史上第一个提出能量守恒定律并计算出热功当量的人。1842 年，迈尔在李比希主编的《化学与药物年鉴》上发表《论无机界的力》，他在文中提出了一切能量是不灭的思想，并用  $mv^2$  代替  $mv$  表示运动量。但当时这篇文章未引起同行们的注意。

1845 年，迈尔自费出版了一本名为《有机体的运动与新陈代谢》的小册子。他在书中再次论述了能量守

恒定律，还把物理能的形式分为五种：重力势能、动能热、磁、电和化学能。虽然这个小册子亮点颇多，但仍未受到当时科学界的重视。迈尔也许命中注定只能扮演悲剧角色，他的科学成就长期得不到社会的承认，甚至遭受到攻击，他的五个孩子也相继夭亡。1850 年，迈尔自杀未遂，从此患了精神错乱症，长期在精神病院中疗养，与世隔绝，以致李比希在 1858 年的一次演讲中误称迈尔已经因病早亡。1878 年，迈尔在孤寂中死去。其实，在迈尔生活的时代，德国的科学化已日趋明显，而迈尔仍然是一个十分业余的科学家，游离在主流科学界之外。他不仅不做实验，而且也没有理解数学分析的重要性，因此在他的文章中很少能见到严密的数学推理。他与学术刊物编辑们的关系一般，以致他很难在有影响力的刊物上发表论文。

与迈尔相比，亥姆霍兹要幸运得多。1847 年，在对迈尔的研究毫不知情的情况下，亥姆霍兹向柏林物理学会宣读了他的论文《论力的守恒》，这篇物理学史上的经典之作从不同学科对能量守恒定律的普适性进行了论证。由此开始，能量守恒定律从不完善的构想成为较成熟的理论。虽然同时代的迈尔和焦耳拥有类似的结论，但许多科学史学家仍然愿意把亥姆霍兹当作这一定律最重要的发现者。尽管《论力的守恒》的重要性未能在一夜之间得到认可，

但是它足以让亥姆霍兹成为物理学史上一颗恒星。

## 二、亥姆霍兹在生理学、声学等方面的贡献

1851年，亥姆霍兹在科尼斯堡大学任生理学教授，讲解人体各器官的运作机制。一天晚上，亥姆霍兹注意到猫眼睛会发光，而按照能量守恒定律，只有燃烧的物质才能发光，但猫眼中不可能有物质在燃烧，因此它只能反射外界的光。那么可不可以也用光学理论来解释人眼的运作机制呢？此时亥姆霍兹正在研究眼睛的发光度，在检测眼睛时，红光会被反射出来，但是他并不清楚反射出来的光线所形成的光学图像到底是什么。受到发光猫眼睛的启发，亥姆霍兹设计制造出人类医学史上第一台检眼镜。利用这个中间带有小孔的凹镜，亥姆霍兹成为观察到清晰的处于活动状态下的人类视网膜的第一人。这种仪器向眼科医生揭示了一个全新的世界，不仅使他们能直接观察眼底、检查视网膜是否正常，还能帮助他们判定眼的屈光度是否正常。这种经改进后沿用至今的检眼镜为亥姆霍兹在医学界赢得了世界性声誉。此后不久，亥姆霍兹又发明了一种用于测量眼睛曲率的检眼镜，用此仪器便可以诊断出散光度，这一发明被权威眼科专家称为“所有发明中最具影响力的发明”。

亥姆霍兹还发展了英国科学家杨在1802年首度提出的三色理论。亥姆霍兹认为，将红色、蓝紫和绿色按一定的比例混合后，可以产生其他任何色彩。他推想，这意味着人类视力可能检测这三种色彩，视网膜一定有三种不同的接受细胞，每种细胞都配有一种对某种原色很敏感的化学物质。亥姆霍兹据此进行了大量研究，形成了著名的杨-亥三色论。

亥姆霍兹于1856~1866年发表三卷本《生理光学手册》，主要阐述以实验为基础的空间视觉、色彩视觉和运动视觉理论，它成为19世纪下半叶相关领域主要的理论来源。这本经典之作于1924~1925年被美国光学协会首次翻译成英文，名为《生理光学专题论文》。直至今日，书中的观点仍有指导意义。

## 三、亥姆霍兹与德国物理学的兴起

1858年，亥姆霍兹来到海德堡大学任教并主持建立了一个新的生理学研究所。当时德国的生理学研究可谓一派繁荣景象，但亥姆霍兹逐渐意识到，生理学所涉及的范围太广，已经超出了个人的能力，很难对其进行总体把握。与此同时，德国物理学因

缺乏受过良好训练的新生力量而裹足不前。因此，亥姆霍兹于1871年接受了柏林大学声望极高的物理学教授一职，他的条件是年薪4000塔勒，另外还要为他建立一个新的物理学研究所。虽然条件苛刻，但是普鲁士政府还是欣然接受了，因为当局认为亥姆霍兹巨大的政治及科学影响力可以帮助其更好的领导德国南部的邦国。

亥姆霍兹对德国物理学的主要贡献是他成功地将英国物理学家麦克斯韦的理论引入欧洲大陆物理学家群体并确立其主导地位。在麦克斯韦电磁场理论被接受之前，以德国物理学家为代表的欧洲大陆物理学家一直坚持错误的超距作用理论。亥姆霍兹发表了一系列论文评价当时主要的电动力作用研究成果，逐渐认同了麦克斯韦的电磁学理论，并认识到其中隐含着电现象的粒子理论。此后，在亥姆霍兹的鼓励下，他的学生赫兹尝试用实验方法证明麦克斯韦所预言的电磁波的存在。

依照麦克斯韦理论，电扰动能辐射电磁波。赫兹根据电容器经由电火花隙会产生振荡原理，设计了一套电磁波发生器，用电振荡来交替激励两个金属球，每当点位在一方或另一方向达到峰值时，就通过间隙放出电火花。随着振荡电火花的出现，麦克斯韦方程预示应该产生电磁波，赫兹设计了一简单的检波器来探测此电磁波。他将一小段导线弯成圆形，线的两 endpoint 间留有小电火花隙。他惊喜地发现，当小球间振荡火花出现时，在检测线圈的间隙也有电火花跳过，从电火花的强度可以判断波的形状，赫兹计算出波长是66厘米，是可见光波长的100万倍。赫兹又证明这种波既包含电场也包含磁场，所以性质上是电磁波。赫兹的实验成功了，亥姆霍兹非常自信地向柏林物理学会报告了赫兹得到的结果，他大声说到：“先生们，我今天要跟大家分享本世纪最重大的一个物理发现”。

1887年，亥姆霍兹来到夏洛腾堡，成为新成立的帝国物理技术研究所首任主席。帝国物理技术研究所亥姆霍兹的领导下，致力于以热力学为基础的精密测量热辐射的研究，因此成为量子论的发源地。1896年，维恩在这里提出了一个似乎得到经验支持的维恩定律，用一个温度的函数来描述能量的光谱分布。3年之后，普朗克从理论上对维恩定律进行了严格推导。普朗克对这一既不依赖于机械动力学，也不依赖于电动力学的结论很满意，毕竟维

恩定律已经与测量结果契合。但理论和实验的和谐没有持续太久，此后进行的精确测量表明维恩定律只适用于高频短波段，在低频长波段失效。在低频长波段的测量结果与瑞利男爵刚刚发表的辐射公式相符。这种测量间的相互矛盾促使普朗克重新思考这个问题。

1900年，普朗克提出了一个合乎经验资料的新公式，但是这种他后来自称是“幸运的猜测”仍然缺乏理论上的解释。为了得到他的辐射定律的理论推导，他不得不假定能量( $E$ )是一个与频率成正比的不连续量，引入了一个自然常数 $h$ 作为作用量子。这是一个相当大胆的假定，因为它违背了经典物理学的基本假定：自然界不做任何跳跃。这一天被劳厄称为量子的生日，量子元年的起点。

亥姆霍兹在诸多学科的贡献使他成为德国最后一位继承莱布尼茨传统的科学家，他的任何一项发现几乎都可以使其名垂青史。但他的认识论对同时代及以后德国科学家的影响与启发也许更有价值。赫兹、维恩、普朗克和爱因斯坦等都受到亥姆霍兹哲学思想不同程度的影响。普朗克曾说：“我知道亥姆霍兹也是一个人，我敬佩他的为人并不亚于敬佩他是一位科学家。由于他具有诚实的信念和谦虚的人品，他成了科学高尚、正直的化身。他的这些品格深深地打动着我的心。和亥姆霍兹交谈时，每当他用那种镇定、透彻、敏锐却又那么和蔼的眼神看着我时，我心中便会涌现一种无尽的子女对父母般信赖与爱的感觉……”

亥姆霍兹对于几何学、数学及力学基本概念的批判对爱因斯坦的认识论及其对康德哲学的看法有着直接影响。爱因斯坦曾说：“我越来越钦佩亥姆霍兹的原创力和自由思想。”爱因斯坦曾多次谈到他还在苏黎世联邦工业大学学习时，就利用课余时间认真研读了亥姆霍兹和赫兹等人的论著，特别是亥姆霍兹的六卷本《理论物理学讲义》使他受益匪浅。

正是普朗克、爱因斯坦等人的非凡理论引起物理学强震，导致了从20世纪初开始长达30余年的物理学革命，看似辉煌的经典物理学大厦随即土崩瓦解。量子力学和相对论不仅是物理学的突破，也是人类思想的巨大飞跃。人类对宇宙和自然的基本看法都发生了深刻的变革。量子力学把统计性的规

律引入物理学给人们提供一种新的关于自然界的认识方式，测不准原理、波粒二象性及互补原理等都与传统的思维模式格格不入，甚至科学规律也不再是不变的真理，而是人类对自然的一种描述方式。狭义相对论打破了牛顿物理学的绝对时空观，证明时间和空间是相对且统一的。广义相对论是人类理性的产物，与量子力学和狭义相对论不同，它完全走在了实验的前面。广义相对论能揭开20世纪出现的宇宙哲学的全部奥秘：从对表明宇宙无限的“红移”的解释，到黑洞概念的形成。

量子力学和相对论为此后的科学和技术的发展提供了一个新的基础。晶体管、电子显微镜和计算机的发明仅仅是现代理论给发明、信息和通信领域带来巨大影响的几个例子而已。

#### 四、亥姆霍兹联合会

亥姆霍兹联合会是目前德国最大的科研团体。该联合会每年获得的科研经费总额超过21亿欧元，其中来自政府渠道的经费相当于德国另外三大科研团体：马克斯·普朗克学会、莱布尼兹联合会及弗劳恩霍夫协会三家的总和。亥姆霍兹联合会共由卡尔斯鲁尔中心、于利希研究中心、德国航空航天中心、德国电子同步辐射装置、德国重离子加速器中心、德国癌症研究中心、环境与健康研究中心、分子医学研究中心等15个国际著名的国家级研究中心组成，员工总人数超过24000名。

亥姆霍兹联合会在国际学术界代表着德国的国家科技研究形象，其研究定位是侧重于人类社会的发展、科学技术进步和经济可持续竞争力等国家性的任务，在能源、环境、健康卫生、关键技术、实验物理学、航天与交通等六大研究领域，突出重点解决复杂系统的关键问题。亥姆霍兹联合会的主要特征是围绕大型科研设备而展开国际一流的大科学研究，为此不论是在德国境内以及国际科技界都拥有很多的合作伙伴，并且仍然在扩大与加强这种合作，充分体现着科技进步、创新应用相结合并进而直接影响社会发展远景的鲜明特色。而联合会之所以以“亥姆霍兹”而命名，是因为这位19世纪最伟大的科学家名字本身就充分体现着跨领域、跨学科，跨国界、科技创新与人才培养相结合等特点。

(中国科学院自然科学史研究所 100010)