

科学巨星——玻耳兹曼

张秀平 曲凤成 张兰知

(齐齐哈尔大学物理系 黑龙江 161006)

一门学科中的任何一种有生命力的新思想、新方法和新概念,都会被移植和渗透到其他学科领域。有些非常重要的科学概念和科学思想,由于它正确地反映了人类认识客观世界的结果,所以当它被移植和渗透到了相当的程度,就会改变人们关于世界的科学图景,改变人们的思维方式和世界观。物理学中的熵概念就是这样一个极其重要的概念。

熵概念自 135 年前在物理学中诞生以来,已逐渐被移植到自然科学、社会科学及人类社会生活的各个领域,衍生出了生命熵、植物熵、信息熵、心理熵、环境熵、地球熵、经济熵、思想熵、思维熵、政治熵、历史熵、文学熵、情熵、艺术熵、音乐熵、教育熵、军事熵、社会熵、黑洞熵、气象熵、医学熵、消费熵、建筑熵、结构熵、演化熵、行为熵、产品熵、测度熵、认知熵、购买倾向熵、基因熵、宇宙进化熵、系统科学熵、哲学熵、宗教熵、微分熵、随机过程熵、浓度场熵、温度场熵、农业系统熵、土壤系统熵、作物生态系统熵等众多的非物理熵。甚至熵还成了一种新的世界观、新的文明观。然而,是谁赋予熵如此强大的生命力,使物理学中的熵概念在 135 年间被如此广泛地泛化了?是科学巨星——玻耳兹曼(L. E. Boltzmann, 1844~ 1906)。在熵世界观即将成为地球村内家喻户晓的新理念之时,进一步挖掘熵概念泛化的理论基础的历史渊源,对熵世界观的形成会起到加速作用。

一、初露锋芒

玻耳兹曼于 1844 年 2 月 20 日出生于名闻遐迩的音乐之都维也纳。维也纳的文化氛围对玻耳兹曼的成长产生了很大的影响。玻耳兹曼在描写诗人席勒(F. Schiller)对他的影响时说:“我成为今天这样的人应该归功于席勒,如果没有他,可能也会有一个胡须和鼻子与我全然一般的人,但这个人不是今天的我。”美丽的维也纳孕育了举世无双的科学巨星——玻耳兹曼,赐予他非凡的科学洞察力。

玻耳兹曼的父亲是一名从事法律工作的文职官员,非常重视子女的教育问题。不幸的是,玻耳兹曼 15 岁痛失慈父,16 岁痛失胞弟。家庭的不幸致使玻

耳兹曼的母亲把自己全部的希望都寄托在年少的玻耳兹曼身上。在家庭非常拮据的情况下,玻耳兹曼的母亲也尽可能让玻耳兹曼接受最好的教育。

玻耳兹曼在青少年时期志趣广泛,他不仅喜欢音乐和文学,而且具有特殊的观察天赋,对自然界具有非凡的洞察力。他善于思考,乐于读书,学习成绩优异。

1863 年,玻耳兹曼在林兹读完大学预科后,进入著名的维也纳大学跟斯蒂藩(J. Stefan, 1835~ 1893)和洛喜密脱(J. J. Loschmidt, 1821~ 1895)学习数学和物理。比玻耳兹曼年长 9 岁的斯蒂藩非常赏识玻耳兹曼的才华。玻耳兹曼也不负师望,在大学二年级就发表了首篇研究论文,回答了斯蒂藩提出的电学原理问题。

玻耳兹曼大学毕业后,继续在斯蒂藩的指导下攻读博士学位,并担任斯蒂藩的助手。1866 年 2 月 6 日,还不满 22 岁的玻耳兹曼,向维也纳科学院宣读了他的博士论文。论文的题目是:“力学在热力学第二定律中的地位和作用”。在他的博士论文中明确地指出,仅仅把力学规律应用于气体分子的运动,还不能完全解释热力学第二定律。尽管玻耳兹曼在他的博士论文中提出的假设是令人难以置信的,他的证明也没有得到认可,但这篇论文却为玻耳兹曼日后所取得的最辉煌的科学成就奠定了基础。

1868 年,取得博士学位的玻耳兹曼又发表了评论能量均分定理的论文。这篇论文使玻耳兹曼获得了在大学任教的资格。1869 年玻耳兹曼受聘于奥地利的格拉茨大学,继任马赫的数学物理讲师职位。从此,年仅 25 岁的玻耳兹曼正式开始了他的科学生涯,并逐渐在学术界崭露头角。

二、巅峰之作

在玻耳兹曼 40 年的科学生涯中,他主要致力于气体分子运动论和统计物理学的研究,他是分子运动论和统计物理学的奠基者之一。他把麦克斯韦分布推广为麦克斯韦——玻耳兹曼分布。他证明了能量均分定理。他建立了玻耳兹曼积分微分方程。他导出了粘滞系数、扩散系数、热传导系数的表达式。他引入了 H 函数,证明了 H 定理,给出了熵和热力学几率的关系式——玻耳兹曼关系 $S = k \ln W$,给热力学第二定律以统计解释。他还提出了各态历经假说和系综的思想。玻耳兹曼是一位难得的全才,他

涉足的领域十分广泛,包括物理学、化学、数学和哲学等许多方面。在玻耳兹曼所有的科学成就中,对整个自然界影响最大、最深、最广,而且依然生机勃勃的是著名的玻耳兹曼关系。

玻耳兹曼的 H 定理从微观角度表征了自然过程的不可逆性。这是当时的科学家们所难以接受的。单个分子的运动是可逆的,大量分子在相互作用中所表现出来的宏观热力学过程,却服从 H 函数单调减小或熵函数 S 单调增加的规律,即表现出不可逆性,这两者是矛盾的。这个矛盾就是曾使一些著名的科学家们困惑一时的可逆性佯谬。

为解决这个矛盾所作的努力,把玻耳兹曼的研究工作推向了科学巅峰。1877 年玻耳兹曼提出了对这个佯谬的解答,发表了题为“论热力学第二定律与几率的关系,或平衡定律”的论文。在这篇论文中,具有非凡的科学洞察力的玻耳兹曼,运用几率方法进行推算,创造性地把熵 S 和系统相应的热力学几率联系起来,得出了

$$S \propto \log W$$

这一科学巨论。虽然在玻耳兹曼的论文中,从没有将 $S = k \ln W$ 这个公式明显地写出,只是论证了 S 与 $\log W$ 成正比,是普朗克 1900 年在他关于“热辐射”的著名讲义中引进了比例系数,将上式简写为

$$S = k \ln W$$

其中 k 为玻耳兹曼常数。但将此公式冠以玻耳兹曼之英名,他却是当之无愧的。熵与热力学几率成正比这个具有深远影响的科学思想是玻耳兹曼独创的。系统的宏观态与系统的微观态数的对数成正比这一适用于整个自然界的客观真理是玻耳兹曼首先发现的。 $S = k \ln W$ 是所有科学公式中的第一公式,它诞生于玻耳兹曼科学创造的巅峰时期,所以可称之为玻耳兹曼的科学巅峰之作。

玻耳兹曼的科学巅峰之作揭示了热力学第二定律的统计本质,指出这个定律只是一个统计规律,熵自发减小或 H 函数自发增大的过程不是绝对不可能,只是几率非常小。

这一巅峰之作把力学过程的可逆性与热力学过程



图 1 玻耳兹曼墓碑上的玻耳兹曼关系
(本图由北京大学赵凯华教授摄于维也纳中央公墓)

的不可逆性辩证地统一起来,它揭示出热力学规律是物质结构的原子性的表现,其统计规律性根植于系统中巨大数目粒子的随机运动。难能可贵的是,当玻耳兹曼把宏观的热力学过程与物质的微观运动联系到一起,即当玻耳兹曼完成其科学巅峰之作时,原子、分子的客观现实性还没有被科学界普遍承认。在这样一种科学氛围下,完成这样一件不凡之作,需要多么非凡的勇气和智慧,多么敏锐的科学洞察力啊!在科学史上,如此深奥的科学洞察力惟有玻耳兹曼独有。

玻耳兹曼的科学巅峰之作所揭示的熵和热力学几率之间

的联系是物理学最深刻的思想之一。物理概念第一次用几率的概念表达出来,意义深远。作为科学公式,玻耳兹曼关系已成为物理学中最重要的公式之一。在一个公式里汇聚了这么丰富的内容,言简意赅、影响深远,在整个物理学中实属罕见,可与之相媲美的似乎只有牛顿运动定律 $F = ma$ 和爱因斯坦的质能关系 $E = mc^2$ 。因此,在维也纳中央公墓玻耳兹曼的墓碑上,只刻下了 $S = k \log W$ (\log 为对数符号,更确切地应写作 \log_e 或 \ln) 这一公式,作为玻耳兹曼的墓志铭。玻耳兹曼的墓志铭最恰当地总结了他的研究工作。玻耳兹曼的墓是宏观世界和它的原子内涵之间的桥梁。

玻耳兹曼常数 k 是自然界的普适常数,成为反映自然界普遍规律的 6 个基本常数之一。玻耳兹曼关系不仅描述了热力学第二定律的统计意义,而且还表达了自然界遵循的普遍规律——统计性规律。这也正是玻耳兹曼的科学巅峰之作的深刻内涵、深远影响所在。

在自然界中,凡有大量对象卷入后,不管统计的对象是宏观的,还是微观的;也不管此对象的微观态遵循自然科学规律,还是社会科学规律,玻耳兹曼的巅峰之作所揭示的统计性规律总要起作用。统计性规律是支配群体的规律,不管是分子的群体、星体的群体,还是人、动物和植物的群体。单体不存在这种规律,对大量单个事物进行统计时,这种规律才呈现出来。玻耳兹曼关系为体系的宏观态与微观态之间架起了一座桥

梁起到了宏观量与微观量之间的当量作用。此处体系的概念是广义的,它可以是热力学的,也可以是非热力学的;可以是自然科学体系、社会科学体系,也可以是宇宙系统。宏观态与微观态,宏观量与微观量的概念也是广义的,微观态与微观量可以与物质的微观结构有关,也可以与物质的微观结构无关。玻耳兹曼关系适用于一切内部存在着差异的系统,标志系统内部差异的量是广义的微观态数 W ,它代表系统一切可能出现的微观态数。微观态系指按任意方式定义的能反映系统差异程度的状态,它可以是微观的,也可以是宏观的。正是由于玻耳兹曼关系具有如此深刻、广泛的内涵,物理学中的熵概念才被移植到整个自然界,出现各种各样的熵。因此可以说是玻耳兹曼的巅峰之作赋予熵如此强大的生命力,使熵之花在科学的百花园中永远绽放。 $S = k \ln W$ 是熵概念泛化与演化的理论基础,各种各样的熵的诞生都是 $S = k \ln W$ 的变异。 $S = k \ln W$ 对自然界(包括生命世界、人类社会乃至整个宇宙)的影响之深远是任何一个科学公式所无法比拟的,这充分展示了玻耳兹曼这颗科学巨星的巨大力量。

面对 $S = k \ln W$ 这样的公式,很像面对完美的艺术品,令人有鬼斧神工之感,叹为观止!玻耳兹曼对麦克斯韦方程赞赏备至,曾经说过:“写下这些记号的难道是一位凡人吗?”我们不妨将此移用于以他的名字命名的关系式,不也是非常恰当的吗?

三、伟大人格

玻耳兹曼热爱科学,追求和谐,为科学真理而奋斗不息。在科学研究中玻耳兹曼有执著的追求精神,从不放过任何一个疑难问题。他常常陶醉于所研究的问题,甚至达到了忘我的境界。有一次在自己学生的博士学位授予仪式上,玻耳兹曼由于专心致志地思考问题,竟然忘记了给学生颁发学位证书。在仪式结束时,玻耳兹曼把证书递到了前来向他祝贺的校长手中。

玻耳兹曼是一位受人尊敬的优秀教师。他为人正直热情,对学生既严格要求又不以权威自居。他无拘无束、和蔼可亲的个性特征同他满脸胡须的威严相貌形成了强烈的反差。

在为人处事方面,玻耳兹曼努力将做人的宽容与做学问的严谨区别开来,将科学上的争论和对峙与真诚的个人感情区别开来。在学术论争中,洛喜密脱、马赫(E. Mach, 1838~ 1916)、奥斯特瓦尔德(F. W. Ostwald, 1853~ 1932)是玻耳兹曼的主要对手。在科学问题的论争中,双方总是唇枪舌箭,据理力争,互不相让。而在争论后,玻耳兹曼总是想办法主动

恢复淡化了的私人情感。玻耳兹曼曾主动写信给洛喜密脱恢复个人关系,并在洛喜密脱逝世后,亲自撰文哀悼。

玻耳兹曼是一个只注重内涵,不注重仪表的人。他的衣着非常随便,常常不拘小节。1904年,他去美国参加圣路易斯世界博览会,穿着一身很旧的衣服,工作人员将他误认为是一位搬运工,让他快去给玻耳兹曼搬运行李。

玻耳兹曼是一位慈祥的父亲,为了培养孩子的音乐兴趣,他在音乐厅专门为全家人订有固定的座位。玻耳兹曼也是一位体贴入微的丈夫,为了减轻妻子的家务负担,他亲手组装电动缝纫机等家用电器。

四、科学悲剧

劳厄说:“如果没有玻耳兹曼的贡献,现代物理学是不可想象的。”我们认为,如果不是玻耳兹曼这位科学巨星突然陨落,人类文明的历史进程将提前半个世纪。熵世界观、熵觉悟、熵文明在今天可能已在全世界普及。

由于玻耳兹曼的巅峰之作创造于物质的分子、原子构成理论尚未被科学界普遍接受之时,因此当时人们不仅没有看到玻耳兹曼的这一无与伦比的科学成就的伟大意义,反而对玻耳兹曼进行围攻,又加之玻耳兹曼长期孤军奋战、疾病缠身,使感情丰富的玻耳兹曼心灰意冷,陷入孤独、忧郁和绝望的境地。1906年9月5日玻耳兹曼在意大利的里亚斯特附近的杜伊诺度假时自杀身亡。玻耳兹曼的自杀是科学史上的一大悲剧!尤其令人感到遗憾的是,科学史上的这一悲剧恰恰发生在根据布朗运动的实验和理论最后证实分子、原子存在的前夕。当时的科学氛围应对玻耳兹曼的自杀负有完全的责任。当时的科学氛围对玻耳兹曼的精神压力实在是太大了,以致压跨了伴随玻耳兹曼一生的对科学的执著的追求精神,使他无力去等待原子、分子论的被承认,面对已经疲惫不堪的一生,最终选择了这一消极的解脱方式。玻耳兹曼的生命之熵还没有达到熵最大的平衡态,生命就骤然停止了,这是科学史上最大的一件憾事!

然而,历史是公正的。玻耳兹曼逝世不久,皮兰(J. B. Perrin, 1870~ 1942)关于布朗运动的实验,直接证明了原子论的正确性。与此同时,大多数化学家也接受了原子、分子学说,对以奥斯特瓦尔德为首的唯能论者展开了公正的激烈批评。就在玻耳兹曼逝世的同一年,这种批评使奥斯特瓦尔德无法再在大学里继续任教,他辞去了莱比锡大学教授的职务,开

女性与元素

姜广智 秦炎福 编译

(陕西师范大学 西安 710062)



1939年,随着最后一个天然元素和核裂变被先后发现,人类谱写了科学史上的新篇章。其中每项发现都包含有女性所做的重大贡献,这令20世纪女科学家格外引人注目。

回顾女科学家在元素和核裂变发现中所做的贡献,会发现一个有趣的历史现象:有很多女科学家参与并开辟了现代科学的重要领域。她们在自然界发现5个天然元素(钋、镭、镭、铯、钫)和十几个同位素,与20世纪前79个基本元素(92个基本元素中有3个人造元素:镓、钷、碲)全部由男性发现形成强烈的反差。其中有3位女科学家参与发现核裂变的工作。她们中最具有代表性的女科学家是:玛丽·居里、莉斯·迈特纳、爱达·诺达克、伊雷娜·约里奥·居里、玛格丽特·佩雷、玛利亚乔帕特·迈耶、吴健雄。开创性工作是由玛丽·居里完成的。她们中有3人获得4次诺贝尔奖,有两人另两次诺贝尔奖密切相关。

一、玛丽·居里及影响

玛丽·斯克罗多芙斯卡·居里(1867~1934)是一位杰出女性。她在放射性和核研究领域做出的贡献举世闻名。她的丈夫皮埃尔·居里(1859~1906)放弃自己的研究工作,同她一起从事放射性和核研究工作,在1889年发现放射性元素钋(84)和镭(88)。1903年他们与1896年发现放射性现象的亨利·贝克勒尔共同分享诺贝尔物理学奖。1906年皮埃尔因车祸去世后,巴黎大学理事会全体成员全票一致通过由居里夫人接替皮埃尔的教授职务,因此居里夫人成为巴黎大学历史上第一位女教授。居里夫人强忍失去丈夫的悲痛,继续放射性研究工作,于1910年成功分离出0.1克纯金属镭,并确定出镭发射的 β 射线就是电子束流。1911年,居里夫人虽然由于世俗偏见未能当选法国科学院院士,却因发现两种

新元素获得诺贝尔化学奖。

她是迄今为止

在不同科学领域惟一两次获得诺贝尔奖的科学家。

尽管居里夫人由于受到实证经验论的限制,未能使她进一步创立关于放射性本质的理论,然而她的影响力是无可置疑的。1899年她的早期同事之一——安德列·德比埃尔运用她的方法发现元素钋(89),1900年德国的弗雷德里克·多恩利用她的技术发现元素氡(86)。在居里夫人的影响下,她的女儿伊雷娜走上了成功的道路;曾协助她检验放射源的一位助手,埃伦·格莱迪奇在回到祖国挪威后继续多年从事放射性研究。居里夫人在从事自己研究的同时,还帮助另外两位女科学家索尼娅·科特和夏米分离钋的蜕变物的工作。

居里夫人还特别慷慨地为其他研究者提供镭样品,包括在加拿大工作的欧内斯特·卢瑟福。1902年哈丽特·布鲁克斯(1876~1933)和卢瑟福在麦吉尔大学研究 α 射线的穿透能力,首次尝试通过散射方法确定氡的密度。1904年他们通过研究镭的半衰期,得出结论:氡能够形成3种连续蜕变的产物——镭A、镭B和镭C,后来它们分别被鉴定为钋、铅和铋的同位素。

二、发现核裂变前的女科学家

莉斯·迈特纳(1878~1968)是20世纪前期最重要的女科学家之一。虽然她的父母是犹太血统,她在维也纳还是接受了基督教洗礼。她于1906年完成学业,是第二位维也纳大学物理学女博士。后来来到柏林师从马克思·普朗克,不久和放射专家奥托·哈恩开始长达30年的合作。起初禁止她和其他女学生在实验室工作,后来才安排她在装满辐射检测仪器的楼外木结构工作间里,进出还只能走外面的

始了隐居生活。1909年,他很内疚地说玻耳兹曼是在科学事业中“比我们都要更敏锐、更认真的人。”在科学事实面前,奥斯特瓦耳德变得谦虚和中肯了,他在即将获得诺贝尔奖时自叹不如玻耳兹曼。

玻耳兹曼这颗耀眼的科学巨星在浩瀚的宇宙夜空中,将永远放射出越来越灿烂的光辉。熵世界观必将在全世界普及,长眠于维也纳中央公墓的玻耳兹曼终于可以得到告慰了。