

新疆维吾尔自治区科学技术协会编

熵与交叉科学

高索出版社

熵与交叉科学

新疆维吾尔自治区科学技术协会编

新疆人民出版社

内 容 提 要

近年来熵(信息)概念与熵原理正在迅速向众多学科渗透,从而使熵成为一个引人注目的新焦点。有人预言21世纪将是熵的世纪。本书汇集了31篇论文,反映了我国学者在这方面近年的工作。论文中对熵理论的历史、哲学意义、物理意义和它在宇宙学、生物、地理、气象、水文、地震等领域的应用都有论述。书中新论点很多,对于某些问题还发表了有争论的意见。它是我国学者关于熵的第一部专集。

对自然科学和技术科学工作者、理工科教师与学生、自然辩证法研究者,本书是一个启发性的读物。

熵 与 交 叉 科 学

新疆维吾尔自治区科学技术协会编

责任编辑 潘根娣

高 等 出 版 社 出 版

(北京西郊白石桥路46号)

北京市昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 全国各地新华书店经售

开本787×1092 1/16 印张12.75 字数317千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数1—2000 定价6.50元

ISBN 7-5029-0198-1/N·0001

前 言

21世纪的钟声快要敲响了。人们回首20世纪的科学技术史的时候，可以从非常广阔的科学领域中模糊地感到有一个共同的幽灵无处不在作怪。这就是熵。

是的，今天天文学、地理学、数学、物理、化学、生物以致信息科学或者社会科学都从不同的角度提出了熵概念与熵原理的问题。人们感到熵正在成为众多学科中的一个焦点。看来在熵这个问题上的曲折或进步将影响众多学科的停滞或发展。

现在认识到熵的重要性的人、对熵感兴趣的学者、想进一步了解熵的人正在大量增多。在这种背景下，新疆维吾尔自治区科学技术协会等单位在1987年主持召开了一次“熵与交叉科学”研讨会。来自全国的有关学者讨论了关于熵研究的形势，交流了近百篇论文。本文集就是在这个会议论文的基础上进一步组织而形成的。熵与交叉科学会议是我国科学史上第一次关于熵的专门会议。本文集是我国学者关于熵的第一本专集。

我们希望这个专集的出版对于想了解熵、应用熵、研究熵的人们有所得益。也希望它能促进更多的人关注这个领域。我们相信加强这一领域的工作会带动众多学科在新的世纪出现新的面貌。

应当指出，这个文集一方面反映了熵这个问题的深与广，也反映了不同作者对某些问题的不同观点。编审者们认为把不尽相同的观点编在一起不是失职，而是让读者在研究这些问题时勇于独立思考，参与有关的讨论。熵及其理论虽曾取得过很多无可争议的成绩，但它至今仍“极其不象一个通常含义下的所谓的已完善的理论”。熵向各领域的扩展也为在各种场合如何理解、应用它带来了新的问题。把差异与矛盾摆到读者面前也会鼓励一批人投身到这个尚待开发的领域，为之作出新的贡献。

本文集前一部分侧重于熵与信息概念及理论的讨论，后一部分侧重于熵概念与理论的应用。附录中为读者提供一些文献，还对我国学者创立的一元数理论、泛系理论作了简要介绍。

新疆气象学会、新疆大学、中国科学院新疆分院的部分人员曾参与了论文集的编审工作。我们向所有为本文集出版作出贡献的单位和个人表示真诚谢意。

新疆维吾尔自治区科学技术协会

1988

目 录

前言

熵 的 分 析

1. 熵理论120年 苗建军 (1)
2. 熵理论的哲学意义 王 维 (8)
3. 谈熵 王 彬 (19)
4. 熵究竟是什么 张学文 (23)
5. 最大信息熵原理及其对统计力学的应用 缪胜清 (30)
6. 随机过程熵与生物生存环境初探 任光耀 (36)
7. 熵与不可用能初探 高德章 (43)
8. 物理场的熵及其自发减小现象 张学文 (47)
9. 熵与复杂性理论 孙晓镛 孙凤文 (56)
10. 有序性观念溯源及熵概念的开拓和研究议 李树菁 (60)
11. 统计信息熵与充分性度量 王文军 (65)
12. De Luca非概率熵的概念及其在图象处理中的应用 朱福元 (70)
13. 关于Shannon熵的本质及其应用 孟庆生 (75)
14. 最小熵：一种新的估计、控制和决策方法 田玉楚 徐功仁 (82)

熵 的 应 用

1. 宇宙为何不热死 方励之 (87)
2. 生态系统的熵及其演化 刘宗超 (93)
3. 生态热力学概论 管廷全 赵松岭 (97)
4. 生态系统的熵污染与环境变化趋势 袁华林 丁德文 (104)
5. 生命现象的“目的性”与负熵 王身立 (108)
6. 熵与地球表层 浦汉昕 (113)
7. 地貌系统的信息熵及其计算方法 艾南山 岳天祥 (118)
8. 熵与大气科学研究的某些进展 段德寅 (123)
9. 信息熵与气象熵 赵文桐 陈霞 赵佩章 (127)
10. 最大熵原理及其在气象学中的应用 张学文 (130)
11. 熵及其在水文频率计算中的应用 李元章 丛树铮 (139)
12. 大震前地震信息熵的异常——以乌恰地震为例 朱令人 (146)
13. 农业系统熵的意义和应用 陈清硕 (150)
14. 熵与水体自净 李元英 黄晓川 (155)

- 15. 信息熵与新闻体例的演化 罗 耘 (159)
- 16. 熵原理用于图象增强 常寿德 (163)
- 17. 利用最大熵准则的新谱分析技术 蒋 丹 徐功仁 (167)

附 录

- 1. 国内近年部分与熵有关的文献 苗建军 (175)
- 2. 刘绍光一元数理论简介 刘宗超 孙 莉 (181)
- 3. 泛系理论与应用 吴学谋 (190)

Contents

PREFACE

The Analyses of Entropy

1. The Theory of Entropy in the Past 120 Yrs.....Miao Jianjun (1)
2. On Philosophic Sense of Entropy Theory.....Wang Wei (8)
3. Talk about Entropy.....Wang Bin (19)
4. What is Exactly the Entropy.....Zhang Xuewen (23)
5. The Principle of Maximum Information Entropy and its Applications in Statistics Mechanics.....Miao Shenqing (30)
6. Primary Study on the Entropy of Stochastic Process and the Living Environment of Life.....Ren Guanyao (36)
7. Probe into Entropy and Unavailable Energy.....Gao Dezhang (43)
8. The Entropy of the Physical Field and its Self Reduction.....
.....Zhang Xuewen (47)
9. Entropy and Complexity Theory.....Sun Xiaodi and Sun Fengwen (56)
10. Trace to the Source of Idea about Ordered and Opening up Entropy Concept and its Reaserch.....Li Shujing (60)
11. Information Entropy of Statistics and Measurement of Sufficiency.....Wany Wenjun (65)
12. The Concept of De Luca Non-probabilistic Entropy and its Application in Image Treatment.....Zhu Fuyuan (70)
13. The Essence of Shannon Entropy and its Application.....
.....Meng Qingsheng (75)
14. Minimum Entropy: A New Approach for Problems of Estimation, Control and Decision.....Tian Yuchu and Xu Gongren (82)

Applications of Entropy in various fields

1. Why the Universe doesn't Heat death.....Fang Lizhi (87)
2. The Entropy of Ecosystem and its Evolution.....Liu Zongchao (93)
3. Brief Introduction to Eco-thermodynamics.....
.....Zan Tingquan and Zhao Songling (97)
4. Entropical Contamination of Ecosystem and Environmental Trend.....Nie Hualin and Ding Dewen (104)
5. The Objectivity of Life-phenomena and the Negative

- EntropyWang Shenli (108)
6. Entropy and the Surface of the Earth.....Pu Hanxin (113)
7. Information Entropy of Geomorphic Systems and its
Calculating Method.....Ai Nanshan and Yue Tianxiang (118)
8. Entropy and Some Progresses of Reserch about Atmo-
spheric Sciences.....Duan Deyin (123)
9. The Information Entropy and the Meteorology Entropy.....
.....Zhao Wentong, Chen Xia and Zhao Peizhang (127)
10. Maximum Entropy Principle and its Application in
Meteorology.....Zhang Xuewen (130)
11. The Entropy and its Application for the Calculation of
Arisen Frequency of Hydrological Phenomena.....
.....Li Yuanzhang and Cong Shujing (139)
12. The Abnormality of Seismic Information Entropy before
Large Earthquake.....Zhu Lingren (146)
13. The Significance of Agricultural Systematic Entropy and
its Application.....Chen Qingshuo (150)
14. Entropy and Water Self-purify.....Li Yuanying and Huang Xiaochuan (155)
15. Information Entropy and Evolution of News Stylistic
Regulations.....Luo Yun (159)
16. Enhancing Image with Entropical Principle.....Chang Shoude (163)
17. A New Spectral Analysis Technique Using Maximum
Entropy Criterion.....Jiang Dan and Xu Gongren (167)

Appendix

1. Domestic Literature about Entropy.....Miao Jianjun (175)
2. Liu Schaukaung and his Unichor Theory.....
.....Liu Zongchao and Sun Li (181)
3. Pansystems Theory and Applications.....Wu Xuemou (190)

熵 理 论 120 年

苗 建 军

(山西财经学院)

迄今为止,用物理学方法描述的自然界的客观规律主要使用的是可逆性语言。而这并非是一切客观自发过程的事实,因为它们既忽略了系统内部的层次结构,又简化了系统与外部环境的相互关系。19世纪关于进化的思想和随机统计方法引入物理学后使我们掌握了一个关于不可逆过程的普适判据,这就是熵的概念和熵增加定理。本文拟以熵概念和热力学第二定律为中心讨论一下熵理论120年来的进展。

自R·Clausius于1854年确切使用熵这一概念一百多年来^[1],它已被广泛应用于几乎所有科学领域。熵概念被广泛应用的事实表明了它在科学发展中的重要地位和自身的生命力,这是令人深感欣慰的一面。但是又由于熵概念在各个领域的广泛引用,不同的人对它作出了多样的规定和表述,这造成了各种熵的含义不尽相同,甚至尚有互相对立的情况,这是令人深感疑惑的一面。

A·Einstein曾将熵理论在科学中的地位概述为:“熵理论,对于整个科学来说是第一法则”^[2]。笔者认为了解和掌握熵理论的必要性可用C.P.Snow在其《两种文化与科学革命》一书中的一句话来表达。他说:“一位对热力学第二定律一无所知的人文学者和一位对莎士比亚著作一无所知的科学家同样糟糕”^[3]。本文通过对熵理论百余年历史的简略探索,希望能在认识它的真面目上有所前进。

平 衡 态 熵 理 论

熵这个概念最初是从平衡态热力学中总结出来的。因此将熵理论在第一阶段的发展形式称作平衡态熵理论是适当的。这一阶段主要是建立了科学意义上的熵概念和熵增加定理,从不同角度由好几个人作了独立的表述,从而增加了熵理论的内容。

法国的J·Fourier发现的热传播定律是对不可逆过程的第一次数学表述。他给出了一种无可驳斥的与力学一样严格的科学。

1824年,S·Carnot发表了《关于热动力学以及热动力机制的看法》这一创新性的论文。特别是他介绍了“可逆性”这个基本概念。他的研究成果是熵概念和热力学第二定律的萌芽^[4]。后Clausius从热功等值的第一定律出发作了关于比热的推论,导出了关于饱和蒸汽的 dP/dT 方程,进而证明了著名的Carnot定理。

“熵”这个词是R·Clausius首创的。17、18世纪时设计永动机广为流行,但均以失

败而告终。到18世纪末就有不少有眼力的科学家相信永动机不可能实现。人们开始悟出了设计永动机可能违背了一条尚无人知的科学定律，而将思路改变为：如果永动机不可能，各种自然力之间应存在什么样的关系。这样导致了许多人同时发现了热力学第一定律和第二定律。

1850年Clausius先将 $\int \frac{dQ}{T}$ 称为转变的等值量，后又改称为相关量，最后（1854年）才称为“熵”，将它表述为热量与绝对温度变化的比。他证明了当能量密集程度的差异减小时，这种确定关系在数值上是增加的。他看到了热力学两个定律的同一性与差异性，将两者加以综合，表达了熵的物理意义，给出了他认为是最简单而又最一般的数学表达式：

$$\int \frac{dQ}{T} \leq S - S_0$$

称这样定义的熵为“转变含量”，建议根据希腊字 $\eta\rho\sigma\pi\eta$ ，即“转变”一词写成与德文词 Energie（能）很相似 Entropie（熵）。他认为“按照这些字所命名的这两个量，就其物理意义来说彼此变得如此接近，以致在名称上有某种相同性，在我看来似乎是恰当的”〔5〕。就这样他从热之唯动说推出了自然界的一条普适定律。

1851年W·Thomson独立地作了等价于Clausius对第二定律表述的表述，并将它用于有关学科。

Clausius与Thomson都把熵作为热力学系统的状态参量。对熵概念的物理意义作出微观解释的是L·Boltzmann。他的雄心是推导出熵的“力学”解释。1872年他从分子运动论的角度推导了各个热力学公式，对熵增加定理作了统计描述，揭示了它的基本物理内容，证明了H函数随时间减小与一定条件下熵增加是相当的。1877年或许还要早他建立了熵与微观粒子微观状态数目W之间的联系，一个微观粒子演变原理诞生了： $S = k \ln W$ 。此前J·C·Maxwell第一个引入了几率的概念，建立了分子运动速率分布的数学表达式。

几乎同时，J·W·Gibbs提出了自由能的概念。Helmholtz将此发展成势函数。实际上，Gibbs早就提倡熵的几率解释，他在1902年出版的书中证明了几率分布指数的平均值与熵之间有极大的相似性，熵被想象为一个统计概念，使统计方法达到了系统而完整。因为把熵看作系统状态实现的可能性，从而他们用微观说明和数学证明给出了热力学第二定律的统计基础。

Boltzmann曾打算走得更远一些，不仅想描述平衡态，而且也想描述系统达到Maxwell速率分布的演变过程——发现与熵增加相对应的分子机制，即驱使系统从任意一种速率分布趋向平衡态的机制。但Maxwell则以“热力学第二定律的限制”为题，设想了所谓的“麦克斯韦妖”，后来使众多的物理学家大伤脑筋，引出过许多争论，直到L·Brillouin作出他的解释，将熵与信息同时考虑，才使问题得以解决。

但Clausius关于熵的概念尚有不完备之处，Walther Nernst于1906年对熵定义给以补充，从而提出了热力学第三定律，1917年给出了明确的表述〔6〕。这样，在19世纪结束时，经过许多有才华的物理学家们的共同努力，不断增加了熵理论的表述形式及它所包含的科学内容。虽然怀疑其正确性的大有人在，但至今仍未动摇它在整个科学体系中的地位。

进入20世纪后，M·Planck和A·Einstein开始推广熵概念与熵函数。这是熵理论发展过程中一段极重要的时期，因为“量子”假说与“光量子理论”的提出都与熵概念的推广

熵本质的揭示有深刻的联系。

尤其是Planck从青年时代起就决心献身于热力学的研究。他的整个科学研究正是从这里开始的。他自修过Clausius的《热力学》，为其中深奥的理论所吸引，终于确定以《论机械热学第二定律》为自己的博士论文题目。在他的研究中超出了前驱的研究范围，将全部“热库”包括进来，从而排除了“当量值”的计算，简化了第二定律的表述。1879年6月28日，因对第二定律有深入的研究和所取得的成就，Planck被慕尼黑大学授予博士学位。此后，他将自己对熵理论的研究用于绝缘物体的平衡态，第二年写出了《不同温度条件下物体的平衡熵》一文，陈述了独到的见解，运用熵概念探讨了弹性力在不同温度下对物体的作用。1885年在基尔大学时他对熵的一些新探讨为后来提出辐射理论打下了基础，从而对热力学第二定律再度作了探讨。他在关于辐射的不可逆过程的研究中，推导维恩公式的根据是熵的电磁定义，证明了谐振子的电磁熵与热力学熵的等同性：“辐射熵的定义，还有维恩分布定律都是熵增加原理应用于辐射的电磁理论时不可避免的结果。因此维恩定律的应用范围，只要它一般是存在的，就与热力学第二定律的应用范围完全一致”〔7〕。F·Herneck说：“他从一开始就把熵的问题摆在自己研究的中心，这一着棋决定性地促进了量子论的创立”〔8〕。

Planck在提出量子假设10多年之后曾花费了很大劳动去尝试如何将作用量子引入到经典理论中去。他在疑惑不定的日子里正担任《物理学年签》的主编。1905年他收到了Einstein的论文《Planck的辐射理论和比热理论》。Einstein写道：“以第二定律的玻尔兹曼理论来解释黑体辐射能量分布定律，可以引导我们形成有关光的发射和吸收的新观点”。这样Einstein以自己的新发现支持了Planck的研究。

非平衡态熵理论

J·D·Fast指出，熵概念有两个来源：经典热力学和统计力学，有三种表达式〔9〕。本世纪三十年代后，熵理论冲破了平衡态的局限，推进到了非平衡态。这一进展首先由线性非平衡态的两个成果：L·Onsager发现的倒易关系〔10〕和I·Prigogine发现的最小熵产生的定理〔11〕开始，尔后再进到非线性非平衡态的。这是熵理论发展史上的第二个阶段。

Boltzmann的工作打破了只有平衡态才能确定其熵的局限，开了研究非平衡态熵理论的先河。Onsager则在热力学以外假设了线性唯象关系，提供了关于唯象系数的知识。当唯象系数满足由热力学第二定律所加的限制及其空间对称性和时间对称性的限制时，其数学表达式为

$$L_{KK'} = L_{K'K}$$

其物理意义是：当第K个不可逆过程的流 J_K 受到第 K' 个不可逆过程的力 $X_{K'}$ 影响时，第 K' 个不可逆过程的流 $J_{K'}$ 也必定同样受到第K个不可逆过程的力 X_K 的影响。这样既确立了热力学“力”与“流”之间的变化服从严格的线性关系，又大大减少了实验分析的困难和工作量。由于这一贡献Onsager获得了1968年诺贝尔化学奖金。倒易关系作为与各种不可逆现象联系的元过程的时间反演不变性的严格结果，确实成了热力学史上研究熵的转折点，“标志着人们的兴趣从平衡态转向非平衡态的转折点”〔12〕。

平衡态的熵描述到非平衡态，一个首要困难是如何描述一个热力学状态。若抛弃已有的态变量及它们间所满足的关系，原有的结果这时就失去了意义，这一困难因I·Prigogine引入

“局域平衡假设”迎刃而解。1945年他发现了最小熵产生原理这一线性非平衡态的理论基石。

对不可逆过程作定量描述意味着用一些等式取代热力学第二定律。以“局域平衡假设”为桥梁, Prigogine 巧妙地将平衡态熵结果用于非平衡态情形, 将熵变化分为体系与外界相互作用交换质能的熵流和体系内部不可逆过程贡献所引起的熵产生, 即 $dS = d_e S + d_i S$ 。“这样看来平衡态就相当于边界条件允许熵产生为零的特殊情形” [13]。事实上, 作这样的划分后来对处理开放系统的熵产生有重要意义。

在非平衡态线性区, 局域熵产生为

$$\sigma = \sum_k J_k X_k = \sum_{k,l} L_{kl} X_k X_l \geq 0$$

于是总熵产生

$$P = \frac{d_i S}{dt} = \int d\sigma$$

上式的意义为局域熵产生及总熵产生均不可能小于零。由局域平衡假设导出的体系的熵产生率是化学反应流和力的乘积的总和。如果 l 这样的不可逆过程不存在, 结论就退回到了平衡态熵理论。对线性非平衡态总熵产生随时间的变化作进一步分析时, 则有 $dP/dt \leq 0$ 。=号对应定态情况, <号对应离开定态的情况。这个结论的意义是: 平衡条件下, 总熵产生随时间的进行总是朝着熵产生率减小的方向进行, 直到定态。此时熵产生不再随时间变化。因定态时熵产生率处于极小值, 故上述结论称为最小熵产生原理。

最小熵产生结论并不象 Onsager 倒易关系可以是普适的。正是这个曾使 Prigogine 失望的结论对他继续探索非平衡态熵理论, 起到了积极的建设性的作用, 转而将眼光移到非线性区。利用状态空间研究系统的稳定性首要一步是确定李亚甫诺夫函数。正如熵 S 是平衡态的李亚甫诺夫函数, 总熵产生 P 是线性非平衡态的李亚甫诺夫函数, 他也希望找到非线性非平衡态的这样一个函数。后来终于找到了, 它就是熵函数的二次微商 ($\delta^2 S$)。它有两个特性: $\delta^2 S \leq 0$ 及 $d\delta^2 S/dt$ 符号不确定。由稳定性理论可知, 前一个特性由局域平衡假设所决定, 后一个特性取决于体系的各控制参量和动力学系数。 $dS \geq 0$ 是平衡态的熵判据, $P \geq 0$ 与

$\frac{dP}{dt} \leq 0$ 称为发展判据, 而现在 Prigogine 要找更进一步的“普适判据”。

他先将发展判据分作两部分

$$\frac{dP}{dt} = \frac{d_e P}{dt} + \frac{d_i P}{dt}$$

上式右边第一项是广义力的改变所引起的熵产生随时间的变化率

$$\frac{d_e P}{dt} = \sum J_i dX_i$$

可以看作是“最小熵定理”的推广; 第二项

$$\frac{d_i P}{dt} = \sum X_i dJ_i$$

是由不可逆过程流 J 的改变所引起的熵产生的变化率。利用近平衡区热力学势的推求方法,

可以证明在非线性区有 $\frac{d_e P}{dt} \leq 0$, 此式就是所求的“普适判据”。它是对最小熵产生定理的推广, 第一次给导致不稳定现象的动力学过程作了自然分类。当线性条件满足时, 就退回

到最小熵产生定理。

Prigogine 对熵理论作出的发展的意义,集中体现在他获诺贝尔奖金时的演讲中的一段话:“因为本世纪初以来,我们已习惯于在基本粒子的微观世界中或在宇宙尺度的宇观世界去寻找新的理论结构。现在我们看到,即使在人们自己通常所处的时空尺度的一些现象中,若加进热力学因素,也会引出新的理论结构”〔14〕。

广 义 熵 理 论

偶然性的观念和随机统计方法引入物理学之后,对人们掌握熵的本质起了非它莫属的作用,而这种认识也成为信息论中信息熵概念的前提,这是熵概念的第三条思路。信息论所指的信息不同于日常所指,信息熵比前述熵概念的含义既广又具有普遍性意义。因此信息熵是一种广义熵理论。

在物理学中,关于信息与熵的联系是从系统状态不定度开始的,二者之间的可测关系在1872年Boltzmann的著作中已提到:“熵是一个系统失去了的‘信息’的度量”〔15〕。1929年〔16〕L·Szilard最早将熵减少同获得信息相联系,向动摇熵增加定理的麦克斯韦妖提出挑战。他找出了熵减少的可能原因,严格地计算出通过妖传往系统的熵值,并得出了两个量相等的结论。从而预言了信息论的诞生。

1948年N·Wiener〔17〕和C·E·Shannon〔18〕将前人的成果予以总结,强调了“信息量”这个概念。尤其是后者的文章超出了以往的研究范围,阐述了许多重要定理,把信息熵与统计力学熵概念相联系,把信道定理看作热力学第二定律在通信理论中的特殊形式,使信息熵成为信息论的一个正统的分支。现代信息论基本上仍是围绕着他的思路。

Shannon当时突破“信息量”这一关键概念时的思路是:“能否定义一个量,这个量在某种意义上能度量这个过程所‘产生’的信息是多少?或者更理想一点,所产生的信息速率是多少?”〔19〕他把信息量作为信息论的中心概念,在这样的思想指导下,他用马尔科夫过程的统计特性,即它的“熵”来表征信源的特性,给出了信息熵公式: $H = -k \sum P_i \log P_i$ 。用来表述选择和不确定性 with 随机事件的连带关系,一举解决了定量描述信息的难题。接着他解释道:“量 $H = -\sum P_i \log P_i$ (常数 k 仅等于度量单位的选择)在信息论中起着重要的作用,它作为信息、选择和不确定性的度量, H 的公式与统计力学中所谓熵的公式是一样的。式中 P_i 表示一个系统处在它相空间中第 i 个元的概率。因此,这里的 H 就是玻尔兹曼著名的 H 定理中的 H ”〔20〕。如此熵概念再次得以扩展,“信息量的平均具有熵的各种性质”这一点意味着熵通过信息论,将会应用于超出自然科学的一些领域。

Shannon开始用的名称不是熵而是“不定性”。他对热熵理论并无直接兴趣,也没打算解决两种熵概念的内在联系。但这种同一函数形式与同一名称的出现,引起了L·Brillouin的极大兴趣。他先将信息论推广到物理学领域,后来又把信息与具体的物理过程相联系,把两种熵概念相联系,建立了信息的物理模型,解决了一些测量问题和1871年后悬而未决的“麦克斯韦妖”伴谬〔21〕。

经过近四十年的时间,信息熵仍在不断完善之中,它不仅被广泛应用于几乎所有学科,而且提出了将信息的量与质统一量度的理论和将概率熵概念移植到模糊集合上而定义非概率的模糊熵。从科学发展史角度来看,今天人们对熵与信息的理解恰如牛顿力学建立前夜人们

对力的理解。因此,笔者认为综合各种形式的熵表述进行研究,在今后的科学发展中也许会产生一门统一的广义熵理论,协调各门科学应用熵理论解决本学科面临的某些难题。

一个有希望的科学探索领域

本文的简略探索的主要内容已经完成了。回顾百余年来熵理论的推广和应用,其现状确是熵理论创始者们难以比及的。展望它今后的发展趋势,一因这是件极复杂的事,二因熵理论正处在科学开始并越来越被重视的时期,说长道短都显得为期尚早。然而,就当今科学理论对它的注目而论,可以说熵理论研究肯定是一个可望取得硕果的领域。Prigogine的工作就是一例。

由于近十年来系统科学的蓬勃发展,对熵理论的重视也达到一个前所未有的程度。模糊熵在几门科学中已被应用。研究混沌现象的科学中引入了Kolmogorov熵。宇宙学的黑洞研究也十分引人注目。黑洞熵的概念及其定义涉及几个重要的自然常数,其意义不言而喻。生命科学自1944年E. Schrödinger写了《生命是什么?》后,熵已在这一领域中占有重要地位。

探索熵理论,中国的学者也迈出了可喜的一步。新疆气象科学研究所的张学文把熵理解为系统状态的丰富程度(或复杂程度),将非平衡状态熵与信息熵概念再次作了推广,用来表述物理量对空间或某种集合分布的均匀性,引入了“物理场熵”的概念^[22]。“一个物理场中变量 x 只要各点的值不一样,就存在差别。 x 在场内分布上的差别的程度、状态丰富程度是可以定量度量的。它的科学测度方法就是计算物理场的熵”。同时他指出某些这样定义的熵有新的特性——自发过程中趋于减小。表达式为

$$\Delta H \leq 0, H \geq 0$$

在这里“自发”两字理解为外界无该物理系统可吸收的信息。笔者认为,这一推广将会对今后熵理论的研究产生现在尚难以预言的影响。

张学文认为,物质形态的多种多样,决定着熵也不仅有一种,熵的定律应当在统一尺度下约束不同形态的熵,应当把熵的定律进一步扩大到包括物质系统中一切形态的熵中去。因此,物理场熵的研究给某些科学带来的好处,可能不会小于能量研究已带来的好处。

结 束 语

熵的概念最初作为描写和判定热力学的一个状态参量,以后又在统计力学、非平衡态热力学和信息论等学科中植下根来,直到我们将它理解为表征物质系统状态的复杂程度而作为探索自然界复杂性的工具,组成了一幅令人感兴趣的画卷。从方法论和认识论的角度看,这是一个人类思维不断变革及这样的变革又影响了熵理论探索的双重过程^[23]。无论是从自然科学领域还是整个科学范围,甚至从人类文化结构说来,熵理论都必将产生重要影响。对此美国的J. Rifkin等有许多令人信服的观点,虽然我们并不同意他的所有观点。K.E. Boulding《二十世纪的意义》及Prigogine的《从混沌到有序》也都向我们展示了熵理论对人类进步和社会演化所起的作用。迄今人们对熵理的不息探索证明了熵概念是一个非常复杂的、含义相当丰富的综合体,尚有许多未曾认识的要义。

现在熵的概念较它产生的时候通俗明了得多了,但它的神秘色彩似乎并不比我们已认识

了的内容少。正如Brillouin说的那样：“无人怀疑第二定律的有效性，恰如无人怀疑基本力学定律的有效性。但问题在于规定其应用范围及其可能可靠地对之有效的科学课题或其类型。我们特别着重关心第二定律对之保持沉默或者给不出答案的诸情况”〔24〕。方向明确地摆在我们面前，有志于熵理论的探索者将怎样不断作出回答，这正是我们十分关心的。

参 考 文 献

- 〔1〕、〔3〕 G.Holton, 物理科学的概念和理论导论(上), 人民教育出版社, 438, 440 (1983)。
- 〔2〕 王维, 熵理论的哲学意义, 自然辩证法通讯, (3) (1987)。
- 〔4〕 Friedrich Hund, Theorie der Wärme, (1950)。
- 〔5〕 R.Clausius, *ibid.*, 125, 400 (1865)。
- 〔6〕 Б.И.斯杰潘诺夫, 光学三百年, 科学普及出版社, (1981)。
- 〔7〕 M.Planck, Physikalische Abhandlungen und Vorträge (I - III), (1958)。
- 〔8〕 弗里德里希·赫尔内克, 原子时代的先驱者, 科学技术文献出版社, 115 (1981)。
- 〔9〕 J.D.Fast, Entropy, Philips Technical Library, (1962)。
- 〔10〕 L.Onsager, *Phys.Rev.* (1931) a, 37:405、(1931)b, 38:2265。
- 〔11〕 G.Nicolis, I.Prigogine, Self-organization in non-equilibrium Systems, New York, Wiley, (1977)。
- 〔12〕、〔13〕 I.Prigogine等, 从混沌到有序, 上海译文出版社, 181, 182 (1987)。
- 〔14〕 湛垦华等, 普利高津与耗散结构理论, 陕西科技出版社, 112 (1982)。
- 〔15〕 陈润生, 熵, 百科知识, (10), 78 (1981)。
- 〔16〕 L.Szilard, Über die Entropieverminderung einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen, *Z.Phys.* 53, 840-856 (1929)。
- 〔17〕 N.Wiener, 控制论, 科学出版社 (1962)。
- 〔18〕、〔19〕、〔20〕 C.E.Shannon, 信息论理论基础, 上海科学技术编译馆, (1965)。
- 〔21〕 L.Brillouin, Science and Information Theory, Acad Press, New York, (1962)。
- 〔22〕 张学文, 物理场的熵及其自发减小现象, 自然杂志, 1986年第11期。
- 〔23〕 〔印〕 M·达塔, 熵的一百年, 〔美〕今日物理, 1968年21卷第1期, 译文载《摘译——外国自然科学哲学》, 1976年第1期。
- 〔24〕 L.Brillouin, 生命、热力学和控制论, 美国科学家, 37 (4)。

熵理论的哲学意义

王 维

(中国社会科学院哲学研究所)

热力学产生于19世纪,它的理论基础是两个定律:热力学第一定律(能量守恒定律)和热力学第二定律(孤立系统的熵增原理)。对于热力学第一定律,我们早就熟悉,它作为辩证唯物主义自然观据以建立的三大发现之一而倍受推崇。但是,对于热力学第二定律的熵理论却重视不够。熵理论同样也是从大量经验事实中总结出来的、关于自然界热现象本质的共同规律,在热力学方面也有着广泛的运用。

20世纪以来,熵增原理在生物学、气象学和天文学(天体物理学)等自然科学中得到了程度不同的广泛运用;近20年来,在社会科学中熵理论也得到了尝试性的应用,并解释了不少重大的问题。这样,重新估价熵理论在科学中的地位,重新认识其哲学意义就很有必要。著名的爱因斯坦曾说过,“熵理论,对于整个科学来说是第一法则”。美国著名学者J.里符金(Rifkin)则称誉熵理论将成为21世纪文明观的基础。注重对熵理论本身进行深入的哲学探讨,业已呈现出一派方兴未艾的喜人景象。

在此,笔者也想就熵理论本身所具有的哲学意义,作一简略的哲学考察。以期在科学的各领域中,建立起以熵理论为中心的新真理观。

熵概念的本质意义

熵(entropy)一词,西文语源出自希腊语“τροπή”(变化),表示变化的容量。后来,R.克劳修斯于1865年作为热力学上的一个概念而使用。当时,R.克劳修斯是为了进一步推广卡诺定理,将热力学第二定律格式化,才引入这个概念的。熵是热力学用以表示一个物质系统中能量衰竭程度的量度。能的衰竭,或熵的增加,是分子随机运动和碰撞的统计学上可以预测的结果。热力学第一定律对于理解一个给定过程中的能量流动是很有效的。然而,它不能使我们预测在一组给定条件下系统将处于什么状态。熵却能说明物质或场所构成系统的状态量,用以判别自发过程的一个态函数。它象其他描述系统状态的函数一样,在系统处于某一状态时,它具有确定的值,它的量值是由处于一定热力学状态的物质的量决定。

熵常用S表示,用熵表示的热力学第二定律常写成 $dS \geq dQ/T$ 的形式。T为该系统的开尔文温度而dQ为热力过程中该系统吸收的元热量。熵变(dS)在可逆过程时与dQ/T相等,在不可逆过程则大于dQ/T。在与外界无热量交换的绝热过程中dQ=0,这时熵的变化dS则只能 ≥ 0 。这常称为熵增原理。

从分子运动这种微观形式来看,热力学第二定律是关于大量分子或其它粒子的概率特性

的一种陈述。它说明系统倾向于从高度有序的、相对来说不可几的组态，向更为无序的、统计上更可几的组态发展。相当于系统倾向于分子最无序或最混乱的状态。

热力学第二定律有两种形式：一种是热量决不会自发地从一个冷的物体流向一个热的物体，这叫做克劳修斯形式；另一种是要从物体取出热量，并且将它完全转化成功是不可能的，这称之为开耳文形式。

随着熵理论在各门科学技术中的推广、应用和深入研究，熵概念在本世纪中叶又得到进一步的发展。1948年，申农 (C.E.Shannon) 从全新的角度上对熵概念作了新定义。申农定义了一个获得离散信息源“产生”的信息量多少的公式：

$$H = -K \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$$

式中 H 就是玻尔兹曼的 H 定理中的 H （仅差一个负号），移用到此就是概率集 $P_1, \dots, P_n$ 的熵。这里， H 的值是用二进位表示的信息的不确定程度。这样，“信息”就与熵产生了联系。申农将熵概念引进了信息论中，赋予了熵广义的概念，开拓了人类知识新的应用领域。因而，熵理论从热力学领域脱颖而出，开始渗透到人类思想、文化和科学技术的各个领域，证明它具有重要的意义。但是，广义的熵概念的完整意义似乎尚未得到充分研究，熵理论在较新领域中应用的可能性还没有得到充分的发挥，有待于进一步的发掘。

熵理论的自然科学（物理学）意义

唯物辩证法的自然观认为，对立的统一是有条件的、暂时的、相对的，而对立的相互排斥、斗争则是绝对的。自近代自然科学确立以来所研究的各种自然现象，都是对自然现象作了单纯化和理论化的处理后才进行的。譬如，牛顿力学是在忽略了实际存在着物体运动中的摩擦力等因素之后，才抽象地得出物体运动的惯性概念的；电动力学中的麦克斯韦方程则是略去了辐射阻尼、辐射场对运动电荷的反作用等影响之后才总结出来的；即便是研究微观粒子运动规律的量子力学，也还是在设定了“全同性”，即当交换两个相同粒子时不出现新的状态这一前提条件下才成立的。这样，所有这些自然科学原理都具有所谓“时间反演”(time reversal) 的不变性，是研究暂时的、重复的可逆过程。譬如向某一目标发射一颗子弹，这颗子弹在到达目标之后，根据牛顿力学原理，它由于反作用力会反弹、并循着原来弹道折回到枪筒的原来位置状态。而事实上这是不可能。因为自然界的许多过程并不是可逆的，相反，一切自发过程都是不可逆的。用可逆的物理方法去描述不可逆的客观现实世界，既忽略了物体内部的层次结构，又简化了物体与外部世界的相互关系。正如玻姆所说：“将自然定律描述成在原则上完全可逆，只不过是极度简化的表象的产物”。所以，可以说，现存的自然科学原理都只是一种相对的、有条件的、简化了的认识。

但是，热力学第二定律却从另一个侧面看到了自然界局域过程发展的方向性，如实地研究自然过程的不可逆性。也就是说，当子弹从枪筒中发射出去之后就不可能再弹回枪筒内。子弹的有序、单向运动将因它与枪筒、空气阻力的摩擦而转化为热，最后又由于击中目标后全部机械能转化为无序的运动和混乱热而使得整个运动变化成为不可逆。这样，熵理论在物理学领域中第一次真正触及到自然界发展的不可逆性问题。在此，需要说明的是，熵的定义所涉及的可逆过程和不可逆过程概念是在如下这种意义上说的：可逆过程是指系统能够回到