

热力学定律之殇

RELIXUE DINGLÜ ZHI SHANG

马丙现 著



郑州大学出版社

热力学定律之殇

RELIXUE DINGLU ZHI SHANG

马丙现 著

热力学定律之殇

马丙现 著

科学出版社

北京

ISBN 7-03-011011-1

定价：10.00元

（CIP）

马丙现 著

科学出版社

郑州大学出版社

内容简介

热力学不可逆性与动力学可逆性之间的关系是物理学中的一个基本问题。本书在分析所有不可逆性动力学解释的基础之上,进一步分析了热力学概念及热力学规律自身是否具有科学性,揭示了随机性、不可逆性的本质根源。通过本书的论证将会看到:宏观参量集对体系状态的描述是不完备的,因而不存在对任何体系都有意义的、普适的宏观规律;热力学定律是伪定律,热力学第二定律所标定的不可逆性是一种幻觉,热力学不可逆性和动力学可逆性之间的矛盾根本就不存在。

本书读者对象为自然科学基础研究及应用研究的科学工作者,研究辩证法、认识论的哲学工作者,以系统为研究对象的社会科学工作者和研究概率论的数学工作者。

图书在版编目(CIP)数据

热力学定律之殇/马丙现著. —郑州:郑州大学出版社,2009.4
ISBN 978-7-5645-0042-9

I. 热… II. 马… III. 热力学-定律 IV. 0414.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 038922 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

河南龙华印务有限公司印制

开本:710 mm × 1 010 mm

印张:14.75

字数:297 千字

版次:2009 年 4 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

1/16

印次:2009 年 4 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0042-9

定价:38.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换



前言 PREFACE

一种新的认识的形成看似一种偶然事件,但包括人在内的整个自然界的运动是有规律的、确定性的自在运动,认识过程是确定性的自然演化过程在人这一动态群体上的一种表达。从认识过程本身去看认识是人类个体之间以及人类与环境之间相互作用的表现,任何认识的发生都有其历史的和现实的根源。

人们最初对热的认识来源于感觉,而从感觉到伊壁鸠鲁、傅里叶、卡诺把热归结为一种热素,同时把热的传导看做热素在两个物体间的交换,是人们第一次把对热的认识上升到理论的高度。但这种把热归结为一种物质形态的理论,虽然可以解释热传导,却对摩擦生热这类简单的热现象都不能解释。

以笛卡儿、胡克、罗蒙诺索夫、伦福德为代表的物理学家则认为热是物体粒子的内部运动,热不是一种特殊的“热的物质”,而是物质运动的一种表现形态。他们的观点随着物理学的发展最终为人们所接受。热之唯动理论,把热归结为物质运动,否定了热的特殊性,还原了热的本来面目。热之唯动的确立是对热本质认识关键而伟大的一步。

热之唯动确立后,在对大量热现象和热过程的研究过程中,人们逐渐确立了以热力学三个定律为基础的热运动规律,形成了现有的热力学体系。

热力学体系形成过程中的一个重大事件是熵概念的引入和热力学第二定律的确立。热力学第二定律的确立给出了动力学之外对系统运动过程额外的限制,否定了动力学规律对运动的绝对支配作用。这种额外的限制是热运动规律相对动力学规律独立性的体现,然而,热力学第二定律具有的独立性却以与动力学规律的尖锐冲突为代价,也即,热力学不可逆性与动力学规律可逆性之间存在着深刻的矛盾。

把热归结为物质的运动,那么物质的热运动就应遵从物质运动的一般规律,但物理学发展过程中人们忽视了这一简单逻辑,认为热力学规律独立于动力学规律。本书的目的就是要还原这一简单的逻辑,探讨动力学规律与热力学规律的真实关系,并最终得出如下结论:不存在独立于动力学规律之外的热运动的规律,不可逆性是一种幻觉,热力学定律是伪的定律。



本工作不同于以往其他物理理论的特征在于主要用“驳论”的方式表达,需要全面分析现有热力学概念和规律以及分析主要的统计理论,为了阅读方便给出如下阅读提纲:

(1)熵、内能、温度、热量、功、随机性等概念在热力学中仅仅是一种经验性的总结;统计力学也没有独立给出这些概念的定义,而是采用对应原则给出热力学经验性概念的微观解释。

不可逆性的幻觉是在这些概念没有真正准备好的情况下,将特殊情形下总结的、用没有确切含义的热力学概念表达的经验性规律当成了一般的普适的规律造成的。

第5章主要论述了平衡态熵这一概念不可延拓至非平衡态,从而使热力学第二定律失去了概念基础;第9章给出了对内能、机械能、热量、功、温度这些概念的分析,主要目的是阐述要想给出这些概念的普适性定义将直接导致用它们表达的规律不成立而用非普适的概念表达的任何结论又不能被称为规律;第7章给出了确定性与随机性之间的关系,它们的确切关系对理解热运动与动力学运动之间的关系至关重要。

(2)第2章分析了包括各态历经理论在内的动力学系统的时序统计,第3章分析了包括吉布斯系综理论在内的动力学系统构成的系综的统计,这两章主要阐述了系统的不可逆性不因描述者的任何数学操作而获得。第4章是对H定理几种证明的分析,从中可以发现这些证明不具有起码的逻辑性甚至存在数学错误,给不出不可逆性任何意义上的动力学说明。

(3)给出宏观态与微观态之间的确切关系,即给出一个正确的统计原理,对正确理解宏观状态的行为特征是必须的。对统计原理的论述请阅读第6章。

(4)理解趋于并维持平衡的本质对理解热力学第二定律至关重要。第8章指出趋于并维持平衡的过程只是一类特殊环境中子系的行为特征,平衡状态只能在平衡条件作用下(本质上就是在一个封闭的等温箱体中)实现,是一种特殊的非自发行为。

(5)物理规律必须具有普适性,必须对任何体系都成立,第9章对自发性、不可逆性与热力学第二定律相关的概念作了科学的分析和界定,同时,对热力学规律,特别是热力学第二定律的非普适性和非独立性作了深入分析,从而使我们可以自然得出结论:热力学定律不具有“定律”所具有的一般特征。

(6)我们可以举出无穷多孤立系,也可举出无穷多有相互作用的子系,它们并不趋于并维持平衡,也就是热力学第二定律并不构成对它们的约束,但这些被物理学视而不见。对“热力学两种原始表述只描述了一类特殊现象”的论述请阅读第9章。

(7)本工作分析的内容都是现有热力学和统计力学中基本且为大家熟知的,所

以,对以往工作的引用一般不注明出处,请读者自行判断和查找。

最后,作者感谢父母,感谢他们给予了作者生命并把作者养育成人,感谢他们最初的启蒙和为孩子获得教育而付出的辛劳;感谢妻子,感谢她甘愿和我一道享受因我选择了这项工作而必然带来的清贫,并感谢她不时把我从物理世界拉回到现实中享受一下阳光和雨露;感谢女儿,感谢她们的童真给我带来的那些感动和感悟,感谢她们的歌声和笑声给我带来的幸福和希望;感谢创造物质财富的人们和门口的小商小贩,他们与我分享他们的劳动成果使我衣食无忧;感谢祖宗,他们创造的中华文化至少为完成本职工作提供了一种思考和表达复杂逻辑问题最合用的文字工具。这些是作者最直接的生存基础,因而才是完成本职工作真正的现实基础。

马丙现

2009年1月





目 录 CONTENTS

绪论	1
第 1 章 动力论简介	7
1.1 一般动力体系的性质	7
1.2 有积分不变式的体系	14
第 2 章 动力学系统时序统计特征对热力学不可逆性的背离	18
2.1 哈密顿系统相空间的轨道运动与热力学第二定律的矛盾	18
2.2 轨道运动的时序统计	23
2.3 量子动力学系统的时间平均	32
第 3 章 动力学系统构成的系综统计解释不可逆性的逻辑缺陷	37
3.1 现有统计力学中的系综理论	37
3.2 粒子数按实空间和速度方向空间不同分布的状态数	40
3.3 系综分布的动力学特征及相函数系综平均的动力学特征	44
3.4 动力学系统构成的系综统计解释不可逆性的逻辑问题	48
3.5 结论	51
第 4 章 H 定理证明过程的逻辑缺陷	54
4.1 玻耳兹曼 H 定理证明的逻辑缺陷	54
4.2 系综理论中的 H 定理证明(一)的逻辑缺陷	72
4.3 系综理论中的 H 定理证明(二)的逻辑缺陷	75
4.4 结论	78
第 5 章 熵与熵的非广延性	80
5.1 平衡态熵的引入	81
5.2 由玻耳兹曼关系所定义的熵的非广延性	82
5.3 非平衡态熵的引入	90
第 6 章 测量与宏观描述(统计的基本原理)	95
6.1 微观态与宏观态的关系	96

6.2 序与混乱的含义(序的定义)及状态的内禀序性	107
6.3 无序度及对分布的简并性	112
第7章 确定性与随机性	117
7.1 随机及随机过程的数学研究	117
7.2 确定性与随机性	118
7.3 混沌性与随机性	133
7.4 孤立系的确切含义与系统分类	137
第8章 趋于平衡的本质	142
8.1 单个系统趋于平衡的几种解释	142
8.2 平衡条件下外部环境伪随机作用对可能态空间状态的抽样及平均	146
8.3 “Ehrenfest”模型	158
第9章 不可逆性是一种幻觉	168
9.1 自发过程的严格定义及不可逆性的本质	168
9.2 热力学量的含义、热力学定律的解释、多粒子体系的能量及转化和 宏观可逆性与不可逆性	177
第10章 分子马达、相变、耗散	200
10.1 分子马达与麦克斯韦之妖	200
10.2 相变中的动力学作用及环境作用	205
10.3 耗散的本质与时间之矢	219
10.4 另外一些不恰当使用热力学规律或概念의领域	223
参考文献	225
结语	226



· 绪 论

热力学不可逆性与动力学可逆性之间的关系是物理学中的一个基本问题,这一问题意味着热力学和动力学之间存在三种可能的关系:①热力学不可逆性和动力学可逆性之间的矛盾是不可调和的,动力学规律是基本和客观的,而热力学规律不是基本和客观的;②热力学不可逆性和动力学可逆性之间的矛盾是不可调和的,热力学规律是基本和客观的,而动力学规律不是基本和客观的;③动力学规律和热力学规律都是基本和客观的,但动力学能够给出热力学不可逆性合理的解释。通过本书的分析我们将会看到,热力学规律是伪规律,热力学不可逆性是一种幻觉,热力学不可逆性和动力学可逆性之间的矛盾根本就不存在。

第1章介绍了数学家给出的动力体系的基本运动特征。这些内容作为其他章节讨论的参考。

第2、3章分别分析了动力学体系的时序统计特征和动力学体系的系综统计特征,并以充分的理论和实例分析说明:任何试图通过对动力体系进行统计操作去阐释这种关系的理论都是失败的,都存在严重的逻辑悖论。

动力系统状态函数的时间平均有两种情形,它们都不能说明体系的不可逆性。一是有限时间间隔内的平均,这种平均只是态函数随时间即时变化的平滑操作,所得时间平均的结果仍然随时间变化而变化。如果即时态函数的变化是可逆的,那么,平均后将依然是可逆的。二是无穷长时间的平均,此种情形即各态历经理论描述的情形,这种情形所得结果可能得到不随时间变化的常数,常数虽然可以与平衡态关联起来,但常数根本无法表达过程。除非把数学平均的操作过程当成体系的运动过程,根本不能用无穷长时间上的平均来对热力学不可逆性作出动力学说明。

和时间平均的讨论一样,借助于动力学系综也不可能给出体系不可逆性的说明。系综分为稳定系综和非稳定系综,根据刘维尔定理,系综的稳定性不随系统的动力学运动而变化。虽然状态函数对稳定系综的平均可以和平衡态相关联,但由于非稳定系综的分布永远是非稳定的,从而非稳定系综永远无法演化为稳定系综,也就谈不上用系综描述去说明系统演化的不可逆性特征。如果所给系综一开始就



是稳定的,那么,一开始状态函数的系综平均就是稳定不变的,除非我们把稳定系综的构造过程当成物理过程,借助于稳定系综也根本无法给出不可逆性的动力学说明。

第2、3章的分析结果更加凸显了动力学与热力学不可逆性的冲突,要求我们重新审视动力学规律和热力学规律本身的正确性。

第4章分析了玻耳兹曼方法和系综方法H定理的证明过程。H函数作为分布函数的泛函,随分布函数的变化而变化。但在这些证明过程中,分布函数的变化特征根本不是动力学推导的结论而是在“分子混沌性假设或相位随机性假设”基础之上假设的结论。这些假设等于人为赋予了状态具有随机变化的特征而否定了体系运动状态变化的动力学特征。这相当于人为引入了不可逆性或人为引入了体系变化满足热力学第二定律的方向性。

因此,H定理的证明并不具有数学意义上的逻辑性,存在明显的逻辑瑕疵,H定理本质上是一种被假定的结论,不能看做基于动力学理论被证明的结论。

考察混沌的根源才是我们寻求的答案,动力系统(或系综)自身演化不存在所谓的混沌性,混沌性的根源与环境作用有关。通过对H定理证明过程(两种推导)的分析可以清楚地看到,H定理所作的假设本质上是要求体系受到外部环境的作用,这种作用具有以下特征:宏观上表现为宏观平衡条件(对称性)和微观上表现为与体系的相互作用引起体系运动的随机性。没有环境作用而仅有体系自身的相互作用(碰撞)并不必然使体系达到平衡状态。

实际上,热力学给出的不可逆性是一种幻觉,它是包括H定理在内所有统计理论产生逻辑问题的根源。从第5章开始我们对热力学理论的科学性进行分析。

第5章对平衡态“熵”这一概念是否能够延拓到非平衡情形进行了深入分析。非平衡系统不存在完整的局域平衡分割,因而平衡态“熵”根本不具有广延性特征,这样由平衡态“熵”向非平衡态“熵”的延拓毫无意义。没有普适的熵的概念,热力学第二定律的数学表达就失去了概念基础,以这一概念为基础表达的热力学第二定律的客观性就必须重新考虑。

第6章讨论了统计的基本原理以及物理规律与尺度的关系。

与体系运动相关的微观态的集合有动力学轨道、一段时间内的历经状态(包含轨道及非轨道情形)、可能微观状态集、参数状态对应的微观态集(观测不可分辨状态集)。统计原理从本质上反映了我们对宏观态与微观态(或微观态集)关系的理解。

动力学正半轨道的时间平均实际上就是各态历经理论的平均,可能微观态上的平均是吉布斯理论中微正则系综的平均,与这两种状态集相关的平均在前几章已经被讨论过,它们不适于表达过程。

观测不可分辨子集(相元)内的状态具有相同的观测参数值,具有观测不可分



辨性,子集内状态的被测参数之间无须进行平均,即观测不可分辨子集的统计平均是平庸的(或无意义的)。并且对相元中体系非占据态进行平均也缺乏逻辑合理性。

对于可能状态集的统计平均不含时间参数,不能体现时间上的演化方向,因而,也无法表达热力学过程。

一般而言,观测者基于观测给出的描述相对于微观描述是一种近似描述,也即粗化描述。这种近似或粗化来源于两个方面:①观测描述基于一组参量,这组被选定的参量一般并不等价于描述体系的正则坐标构成的完备集,所以对体系状态的描述是对精确状态的粗化描述(近似描述,仅描述了由所选定参数表征的特征),是不完整的。②对所有参数的空间观测分辨率都是有限的,某一时刻,测量结果自动给出了被测参数在参数空间上一个区域(不是相空间的一个区域)的平均;同时,对所有参数的时间观测分辨率也是有限的。因此,观测结果(宏观结果)首先是对体系历经状态的每个状态的观测参数在实空间观测最小分辨范围内的平均(实空间的平滑操作),其次对上述空间平均后的结果在最小可分辨时间间隔内进行时间平均,也即体系参数对历经状态的空间平均和时间平均。

历经状态的平均是时间的函数,可以描述动力学过程也可以描述非动力学过程,可以描述稳定的宏观过程也可描述趋向平衡的过程。这一平均对观测而言在观测过程中自然实现,这一平均的“尺度”本质上就是物理学中与物理规律表述相关联的“尺度”,它与观测分辨率相关联。

第7章讨论了确定性与随机性这一对概念。描述者通常依据“常识”区分确定性与随机性,这等于说描述者没有随机性与确定性的确切标准,因此不可避免地引起物理学对一些问题认识的混乱并掩盖许多问题的真相。

确定性是指动力学体系动力学轨道的不可交叉性,或指由同一初始状态经历一段时间所得终态的唯一性;随机性是指被描述子系与环境的作用使被描述子系自身自由度及自由度之间的相互作用不能完全确定自身运动状态,从而引起被描述子系状态对被描述子系初态和时间依赖具有的多值性。

随机性与描述的非完整性相关,复合孤立系的任何非孤立子系的运动都是非轨道运动,经历同一初态(子系初态)所得终态都具有多值性,也即具有随机性;而在各自子空间随机运动的子系,若它们的复合系是孤立系,复合系在复合系对应的相空间的运动则是确定性的。即使是上帝所掷的骰子!骰子运动的随机性也不是来源于骰子自身,而是来源于骰子与没有被看见的上帝之手的相互作用!

第8章讨论了趋于并维持平衡的本质。平衡常被人们理解为体系的自发行为特征,但事实上并非如此。

首先,子系要想达到平衡必须分布于有限的实空间中。有限空间是粒子空间分布具有稳定均匀分布的必要条件。实空间的有限性可以由两种作用实现,一是

由局域子系的自由度自身的相互作用使体系处于束缚态,例如固体材料;二是外部环境作用使体系约束在一特定的封闭区域之中,如封闭容器中当器壁有相同温度时气体的平衡。

其次,构成有限空间边界的微观粒子的运动是复杂而不稳定的,但宏观上具有稳定均匀的温度分布,它是体系相应状态函数具有稳定均匀分布的必要条件。

在这样的环境作用下的子系作随机运动,这种随机运动正如 H 定理所描述的,单向趋于并维持平衡。因此可以看出,趋于平衡是被强迫的而非自发的,并且根据对随机运动本质的理解,整个复合系统是动力学确定性运动,子系随机平衡运动是复合系确定性运动在子相空间的表达。

第 9 章系统分析了可逆性与不可逆性、热力学概念及热力学规律。

体系的“自发过程”是指体系没有受到任何外部作用的过程。外部作用是指描述中被选定的那些自由度或子系统之外的所有作用,人的因素仅仅被看成研究对象受到的环境作用的一种。任何非孤立子系的运动都是强迫运动,但它们构成的复合孤立系统的运动却是自发运动。热力学中所有平衡问题中被研究的系统都受到环境作用,它们的运动都是非自发的。

动力学方程反演不变性不能作为体系可逆性的证明,自发与否和体系是否可逆并无直接关系。孤立体系分为周期性的自发轨道运动和非周期性的自发轨道运动,其中周期性的自发运动是可逆的,而非周期性的自发运动是不可逆的;复合孤立系的局域子系的运动是非自发的非轨道运动,如果复合孤立系作周期性运动,则局域子系的运动是可逆的,而如果复合孤立系作非周期运动,则局域子系的运动是不可逆的。

热力学概念是一些不具有严格意义的概念,但要赋予它们严格的意义,它们只能描述一类特殊系统。这些概念包括内能与机械能、温度、做功与热量传导。

若体系状态的内禀序度存在极大值,可以把序度极大的状态相应的能量定义为机械能;若体系状态混乱度存在极大值,可以把混乱度极大的状态相应的能量定义为内能。按这一定义体系状态具有平衡分布特征时,与状态参量相关的能量就是内能。

然而,序度在一个范围内可以连续取值,分布可以从完全无序到完全有序,同时序是表示子集分布整体特征的,一般而言序的分解没有意义,所以这一定义不是把自然界不同系统的能量按体系的序简单地分为两类,也不是将同一体系同一状态的能量分解为内能与机械能的和。内能和机械能是对系统两种特殊序度状态能量的命名,不能描述任意状态下的能量。

运动的强度量不能笼统被称为系统的或空间点的温度,只有系统或子系完全无序时,系统或空间点运动的“剧烈程度”才被称为“温度”。对具有任意内禀序度的状态,应该直接用序度和强度量分别表达体系状态内禀分布特征和强度特征,而

温度本身不再具有确切的含义。

两个子系中任何一个子系,若引起的状态变化在内禀空间具有完全序,那么与状态的这种变化对应的能量变化被称为一个子系对另一个子系的(热力学意义上的)“做功”;若相互作用的两个子系的初态 S_{10} 、 S_{20} 和终态 S_1 、 S_2 都为完全无序分布,两个子系之间交换的能量被称为热量。显而易见,一般情形下,两个子系间能量转移只能用力学意义上的功去描述,而不能用热力学意义上的热量和功。

热力学概念不是对任意状态都有意义的物理量,而正是错误地把这些概念当成普适的概念才使物理学错误地把一种特殊的现象当成了普遍成立的规律。

热力学第二定律的开尔文表述认为“机械能可以完全自发转化为内能;内能不能完全转化为机械能”,克劳修斯表述认为“热量自发从温度高的子系流向温度低的子系,热量不可能从温度低的子系自发流向温度高的子系”。这正是人们得到“复合体系最终达到热的平衡”以及“孤立系的任何过程总是使粒子运动的分布更加无序”这一结论的基本逻辑基础。然而这一逻辑基础存在以下问题:

首先,热力学所说的自发过程并不是真正的自发过程。机械能要想完全转化为内能,相互作用的子系的复合系统还必须具有绝热宏观平衡条件,是一种强迫运动,况且绝热本身又仅仅是一种理想化的概念。而热量、温度概念要想一直有意义以及基于这些概念总结出来的定律成立,需要子系一直维持在准平衡态。而热量传导必然引起各个子系平衡状态的破坏,要使子系一直维持在准平衡态就需要它们各自处于准平衡环境之中,不是一种自发行为。

其次,这种表述中的不可能的过程在“不引起其他变化”这一限制下才“不可能”,这种“不引起其他变化”包含两种表述中的热源本身“应维持平衡状态”的含义。实际上,能量的转移转化必然伴随着除能量之外状态的其他变化,这使无论定理的其他部分怎样描述,由于“不引起其他变化”这样的限制而必然成立。因此,“不引起其他变化”这一限制条件使定理变得毫无意义。

再次,热力学第二定律的克劳修斯表述和开尔文表述中的热源是可以用“温度”描述的平衡态子系,热力学第二定律的克劳修斯表述和开尔文表述是基于“温度”、“热量”概念对平衡态或准平衡过程经验规律的总结。一般体系,在非平衡情形下,这些热力学量往往不具有确切的含义(或说不能在不同状态下赋予这些概念一致的含义),从而也不存在相应的一般的关系,而平衡子系间一旦发生作用子系平衡状态同时被破坏,除非有平衡环境的维持,即使热源无穷大,热量交换行为在平衡背景上产生的非平衡特征也不会自发消失,基于“温度”、“热量”概念基础之上的描述也将同时失去意义。

还有,任意两个本来平衡的子系发生相互作用(包括热量交换)要达到新的平衡只能经过新的平衡环境作用下的非自发过程而实现。

一个系统任意状态都有自己的内禀属性,包括在某一参数空间的分布特征(用



序概念描述),按现有热力学理论,能量的分配遵从所谓的第二定律,能量的分配使体系更加无序。但本质上刚好相反,热运动强度和与体系状态内禀序都不足以单独决定能量转移方向,序作为状态的内禀属性随状态的变化而变化,混沌性的变化是状态变化在参数空间的体现。不是“热量”交换增加体系的混乱性,而是复合体系符合一定的混乱性特征时,被传递的能量(做功)被称为热量交换。能量变化是状态变化的一种体现,混沌性的变化也是状态变化的一种表现,包括“热量交换”在内的能量交换与混沌性增加之间不是因果关系。

热力学第二定律不是自然界的基本规律,它的两种表述只是对自然界特殊自然现象的经验性描述,不能给出对一般过程运动趋势的限制。对于它能够描述的一类特殊子系,它所描述的趋势与由复合孤立系动力学所确定的这类局部子系运动趋势一致,给不出比动力学方程对体系状态变化更进一步的限制;但要把它能够描述的一类特殊子系的运动趋势看做独立于动力学之外所有体系都必须满足的规律,则是完全错误的。

从整个复合孤立系去看自发过程的方向就是动力学运动的方向,可逆与否由整个参与相互作用的复合孤立系的运动特征决定。平衡只是子系在环境作用下的非自发行为特征,热力学第二定律表达的运动方向性只是一种幻觉,“动力学可逆性与热力学不可逆性之间的矛盾”根本就不存在。

第10章讨论了其他一些问题,其中,最重要的是讨论了耗散理论及热力学理论与动力学之间的关系。

耗散理论和平衡态热力学理论反映的都是具有某种特征的动力体系局部现象的理论,它们都不是普适的理论,都不是与一般动力学理论同一层次的理论,它们赖以建立起来的概念方法不能随意应用于任意系统。当这些理论应用于实际系统时,必须判断所遇到的系统是否满足这些理论所要求的条件。作为更高层次的研究一般复杂系统的分支理论,动力论是它们共同的理论基础。

实际上,多粒子体系的运动特征千变万化,我们不可能给出有限种类的“宏观理论”描述所有的自然现象。即使我们找到一些概念和术语去描述一类特殊的系统,但这些描述是极不完整的,且只对同类系统有意义。

另外,自在运动的方向就是整个复合孤立体系动力学确定的方向,热力学理论引申出来的退化时间之矢与耗散理论引申出来的进化时间之矢都是幻觉。

总之,本书在分析所有不可逆性的动力学解释的基础之上,进一步分析了热力学自身的科学性。揭示了随机性、不可逆性的本质根源,否定了热力学第二定律为基础的热力学理论具有的基础性地位。

第 1 章



动力论简介

复杂动力体系的求解,虽然对数学家也是很难完成的工作,但数学家却相当成功地刻画了动力体系运动的一般定性特征。他们的研究成果,在一般的《微分方程定性论》或《动力论》中都有介绍。本章通过一组定义和定理给出动力体系的一般数学结论,它们将作为后续章节讨论问题的基础。

这些数学结论主要包括以下几个方面:渐近行为,稳定性,周期性,各态历经性。

1.1 一般动力体系的性质

1.1.1 动力系的一般性质

给定一度量空间 R 及一族由 R 到它自身的映射:

$$f(\rho, t)$$

假定此函数对每一点 $\rho \in R$ 及每一个实数 $t (-\infty < t < +\infty)$ 给出一确定的对应点 $f(\rho, t) \in R$, 且对于函数 $f(\rho, t)$ 满足下面一些条件:

i. 初始条件:

$$f(\rho, 0) = \rho \quad (1.1)$$

ii. 对于 ρ 及 t 的一并连续性条件: 对于一收敛数列 $\{t_n\}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = t_0$, 及任意一收敛点列 $\{\rho_n\}$, $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho_n = \rho_0$, 恒有关系式

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(\rho_n, t_n) = f(\rho_0, t_0) \quad (1.2)$$

这相当于: 给定 $\rho_0 \in R$ 及实数 $t_0 (-\infty < t_0 < +\infty)$, 对于任一 $\varepsilon > 0$, 恒可找到一 $\delta > 0$, 能使 $\rho(\rho, \rho_0) < \delta$ 和 $|t - t_0| < \delta$, 则有

$$\rho(f(\rho, t), f(\rho_0, t_0)) < \varepsilon \quad (1.3)$$

这一条件也意味着对始点的连续性, 即: 如果将两个始点选得充分接近, 那么存在区间 $-T \leq t \leq +T$ 内每一时刻, 其对应的两个动点的距离都将小于给定的正数 ε 。



iii. 群的条件: 对于任一 $\rho \in R$ 及任一实数 t_1 和 t_2 , 有

$$f(\rho, t_1), t_2) = f(\rho, t_1 + t_2) \quad (1.4)$$

变数 t 是群的参数。

将空间 R 变成自身且具有上述性质的变换群 $f(\rho, t)$ 叫做动力体系, 而参数 t 叫做时间。

由微分方程组

$$\frac{dx_i}{dt} = X_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.5)$$

所规定的运动就是一类动力体系, 其中在方程组右端的是 n 维相空间内某一闭域 D 上的点 $\rho(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 的连续函数, 此外, 还假定它们满足能够保证由给定初值

$$x_1 = x_1^{(0)}, x_2 = x_2^{(0)}, \dots, x_n = x_n^{(0)} \quad (t = 0) \quad (1.6)$$

所规定的解的唯一性条件, 此外 $\rho_0(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$ 代表的是运动的始点。

在这种情形下, 方程 (1.5) 所规定的运动的一系列通性: 每一个解或者随 $t \rightarrow \pm \infty$ 而能无限延展, 或者当 $t = T$ (某有限值) 时达到 D 的边界; 每一解

$$x_i = f_i(t; x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1.7)$$

都是时间 t 和始点坐标的连续函数; 最后, 由于式 (1.5) 的右端与时间 t 无关, 如一个在点 ρ 起始的运动在时刻 t_1 到达 ρ_1 , 而在点 ρ_1 起始的运动在时刻 t_2 到达 ρ_2 , 则在点 ρ 起始的运动必在时刻 $t_1 + t_2$ 到达 ρ_2 。

以上微分方程组属于定态问题, 对于非定态问题

$$\frac{dx_i}{d\tau} = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (1.8)$$

引入参数和辅助方程

$$\frac{dt}{d\tau} = 1 \quad (1.9)$$

转到 $n+1$ 维空间 $(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$ 内去讨论。

从描述者的角度看, 非定态问题和定态问题是完全一样的。根据微分方程解的存在性及唯一性, 这种描述是确定性的或完全的。

物理上, 孤立系统的运动是一类动力学运动, 另外, 确定性势场中运动体系的运动也是动力学运动。

定义 1 在一动力体系中, 可能有这样的运动, 对所有的 t 值, 都有

$$f(\rho, t) = \rho \quad (1.10)$$

对应这种运动的点 ρ , 叫做休止点。

定义 2 若存在 $\tau > 0$, 对一切 t , 有

$$f(\rho, t + \tau) = f(\rho, t) \quad (1.11)$$

则 $f(\rho, t)$ 叫做周期运动。一个周期运动的轨道是一简单闭曲线。因此, 动力体系的轨道有三种不同的拓扑类型: ① 点; ② 简单闭曲线; ③ 开区间的单值连续映射。

这些类型的轨道,分别对应着下列各种运动:① 休止点;② 周期运动;③ 非周期运动。

定义3 所谓一个集合 A 对于动力体系 $f(\rho, t)$ 来说是一个不变集合,就是说在群的所有变换下,它变到自身,即满足条件

$$f(A, t) = A \quad (-\infty < t < +\infty) \quad (1.12)$$

如果点 ρ 属于一不变集合,则这个集合包含整个由 ρ 规定的轨道。显然,每一整条轨道构成一个不变集合。同样,由任意一些轨道构成的集合是不变集合。特别地,整个空间构成一不变集合。对于休止点,有以下两个定理:

定理1 没有一个轨道在有限时刻 t 会经过休止点。

定理2 如果 $\lim_{t \rightarrow +\infty} f(\rho, t) = \rho$, 则 ρ 是休止点。

常点邻域内的拓扑结构由定理3给出。

定理3 由微分方程组确定的动力体系在常点(非休止点)的邻域内有很简单的拓扑结构。这一体系能映像为以等速通过的平行直线段族。

1.1.2 动力系的极限性质

对于正半轨道 $f(\rho; 0, +\infty)$, 任选一渐增无界的 t 值序列,

$$0 \leq t_1 < t_2 < \cdots < t_n < \cdots, \quad \lim_{n \rightarrow +\infty} f(\rho, t_n) = +\infty$$

定义4 如果点列

$$f(\rho, t_1), f(\rho, t_2), \cdots, f(\rho, t_n), \cdots$$

以 ρ 为极限点,则此点被称为运动 $f(\rho, t)$ 的 ω 极限点。同样, $f(\rho, I^-)$ 的任意极限点叫做运动 $f(\rho, t)$ 的 α 极限点。

定理4 运动 $f(\rho, t)$ 的 ω 或 α 极限点集合 Ω_ρ 和 A_ρ 都是闭的不变集合。

定理5 如果 $f(\rho, t)$ 是周期运动,则 ω 或 α 极限点集合 Ω_ρ 和 A_ρ 都是闭的不变集合, $\Omega_\rho = A_\rho = f(\rho; I)$ 。

按 $\Omega_\rho(A_\rho)$ 的性质,可将动力系统的轨线划分为三大类:

(1) $\Omega_\rho(A_\rho)$ 为空集,则 $f(\rho, I)$ 叫做正向远离轨线(负向远离轨线);既正向又负向远离的轨线叫做远离轨线。

(2) Ω_ρ 非空,但 $\Omega_\rho \cap f(\rho, I^+) = \emptyset$ ($A_\rho \cap f(\rho, I^-) = \emptyset$), 则 $f(\rho, I)$ 叫做正向渐近轨线(负向渐近轨线);既正向又负向渐近的轨线叫做渐近轨线。

(3) 如果 $\Omega_\rho \cap f(\rho, I^+) \neq \emptyset$ ($\Omega_\rho \cap f(\rho, I^-) \neq \emptyset$), 则 $f(\rho, I)$ 叫做正向(负向)Poisson 稳定轨线。

定义5 运动 $f(\rho, t)$ 叫做拉格朗日式正稳定的,如果半轨 $f(\rho, I^+)$ 的闭包是一紧密集合。同样,如果半轨 $f(\rho, I^-)$ 的闭包是一紧密集合,则运动叫做拉格朗日式负稳定的。同时是正负拉格朗日稳定的运动叫做拉格朗日稳定的。休止点和周期性运动是拉格朗日稳定的。