

试论热力学初始规定的公理性质

关 洪 崔世治

(物理学系)

摘 要

热现象涉及由大量粒子组成的聚集系统,热力学的基本规律不可能仅仅建立在单个粒子的力学、电磁学…等定律的基础之上,因此,热力学的初始概念——热量,或者为导出热量概念而必需的绝热壁、绝热过程等概念——的规定,必定在某种程度上具有公理性,不可能造出逻辑上完美无缺的热量定义。这种“定义”的正确性,不是靠直接的实验验证,而是通过由此建立的热力学理论体系的结果,在千百万次科学实践活动中被检验的。

一、引 言

普遍认为,单凭力学原理不足以推演出热学的基本规律。例如,仅从微观运动方程推导宏观不可逆性的努力,就一直未获成功。热力学包容了机械的、电磁的、引力的…以及从天体到生命等各种运动形态和对象,它自然不能仅从其中一种或几种学科分支取得它的全部基本语汇。热力学研究的是宏观聚集系统的平衡和非平衡状态以及有关过程的普遍规律。这些规律是不能还原为力学原理、电学原理…等的结果的。

根据以上的基本认识,我们认为,热力学的第一条命题,以及与之相伴而来的某些初始概念的确定,事实上具有公理的性质。即是说,热力学的初始命题会含有某种循环论证,它的适用性不能直接由实验检验,而是由基于热力学原理所得出的大量结论与无数实验事实的符合而得到检验的。

爱因斯坦(A. Einstein)早就明确指出,力学的第一条命题——惯性原理含有循环论证的性质⁽¹⁾。推而广之,我们认为,除了可以从其他学科输入初始概念的情况外,各门学科的第一条命题都常常含有某种程度的逻辑循环。这是因为,每门学科的第一条命题都不可能运用本学科的其他命题所建立的概念和定律去陈述(否则,它就不再是第一条命题了),而每一条有内容的命题又必定要同时出现两个或两个以上的概念(否则就只能是毫无意义的 $A = A$ 型的抽象同一)的缘故。人们常把学科里最早的一条(或一批)命题称为公理,它们是不能用本学科领域内的一般方法直接证明,而只能靠千百次实践活动的结果去证明的⁽²⁾。

先定义好所有的基本概念再来建立物理定律,以寻求一种完美无瑕的逻辑体系的想

本文1982年12月收到。

法,无疑是很诱人的。可惜,每门科学里总存在一些单靠逻辑推理不能解决的基本问题。一门学科的初始概念在逻辑上总不是那么“干净”的,它们总是在基本原理建立的过程中被定义的。在这方面,我们可以参照列宁关于物质定义的著名论述,这一“定义”的内容同哲学基本问题的陈述是分不开的⁽³⁾。在物理学里,大家熟悉的惯性质量的定义同牛顿运动定律,电荷定义和库仑定律,电阻定义同欧姆定律等等,都无一不是如此。

热力学也不例外。本世纪初喀喇氏(C. Carathéodory)的工作⁽⁴⁾,站在当时的科学水平上,首次认真地分析了热力学原理的逻辑结构,做出了一些有益的贡献,曾受到普遍的推崇⁽⁵⁾。至今,仍有不少作者始终认为喀喇氏的体系是最完美的,或者只需在细节上做些修补,便可以达到更加完美的程度⁽⁶⁾。当然,应该肯定,喀喇氏对温度定理及对热力学第一定律和第二定律的新表述等方面有其突出的成就。然而,作为一名数学家,喀喇氏实际上只限于把一些基本的物理概念当做现成的东西来使用,对其物理意义并未深究。而且,我们也很难希冀他的体系能够适应大半个世纪以来物理学的发展。近一、二十年来,认为喀喇氏的逻辑体系仍然存在一些未解决的根本问题,因而远未令人满意的看法,已逐渐受到广泛的注意和承认了^(7,8)。

本文主要试图对有关热力学第一定律的初始概念,即对热量及有关概念的逻辑地位问题进行探讨。至于热力学第零定律,热力学第二定律和温度概念等问题,国外也一直争论不休。由于篇幅所限,我们在本文中暂不涉及。

二、热量概念的建立

不同的作者对热量所下的定义,尽管表面看来各种各样,但归纳起来,热量的热力学定义大体上可以用下面的一种典型方式来表达^(9,10)。〔注〕

如果我们已经建立了系统内部热平衡的概念,就可以通过由间壁分隔的两子系统是否能达到热平衡去定义绝热壁和透热壁。接着不难定义绝热过程,再由绝热过程中的功来定义系统的内能变化,最后通过非绝热过程中系统的内能变化和功的关系(热力学第一定律)定义热量。

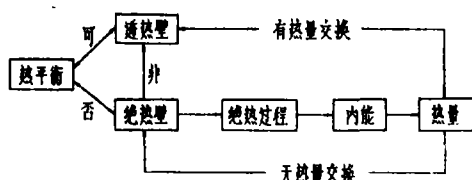


图1 热量概念逻辑框图

这样做,看上去避免了先用量热学的操作定义热量,后来又同热力学第一定律的表述发生重复的毛病。事实上并非如此。大家知道,如果局限在热学范围之内,则两个子系统能否达到热平衡,只能取决于它们之间有无热量交换。所以,仅从热学的观点来看,这里就出现了明显的逻辑循环。可以把

这种局限在热学范围之内的逻辑关系示意如图1。

〔注〕我们以下的叙述并未明显使用温度概念,因为在热力学第一定律的讨论中,温度概念——包括喀喇氏的温度定理——不是必需的。可是,如果某些读者偏爱那样做,也可以先引入温度概念,再做相似的讨论。

我们说在热量的定义中出现了循环论证，并不等于完全把这套体系归结为空洞无物的同义反复；而只是说，热量这个基本概念的确立，具有公理的性质，它是否反映了科学的规律，全看客观世界上是否存在这套理论的对应物。正象爱因斯坦在文献[1]中所讲过的那样，惯性原理虽然含有循环论证的弱点，但又确实在很高的近似程度上存在着它所描述的情况。所以，我们当然要承认惯性原理是一种科学真理，起码是在很高的近似程度上确立了真理。不过这种真理性的确立不是靠逻辑上的论证，也不是基于为此目的而专门设计的某些实验的结果；它的真理性是从由它出发所建立的一整套理论所推出的无数结论同现实世界相比较而得到检验的。

回到热力学，不难举出：杜瓦瓶、泡沫塑料之类就是绝热壁的近似对应物；系统变化过程的速率比起周围环境的变化要快得多时便可以近似地看做绝热过程；一定条件下的量热学操作便可近似地实现热量测量……等等，就表明了上述的一套热学理论确是物理世界客观规律的一种模写。

不妨再从反面对照一下。数学家设想出新的几何学公理，就可以相应地构造出一套新的(非欧几里德)几何学。至于怎样才能具体实现这一套几何学，数学家们是不一定要去管的。物理学家就不能那样。比方说，可以任意地假设存在着一种隔绝(或屏蔽)引力的“绝引壁”(或“引力屏蔽”)，由此未尝不可以展开一套逻辑体系。但是，只要现实世界还找不到那种东西的对应物，就不会有谁把那套逻辑体系承认为成功的物理学理论。总之，在物理学里，逻辑的严谨性固然重要，然而起决定作用的，始终是理论同客观实际的对应。

根据以上的分析，我们认为，对于热量概念建立过程中所包含的某种循环论证因素，不必过份地感到不安。并且，在热学的范围内，从图1所示的循环当中取任何一个环节来作为理论的开端，原则上都是允许的。这些概念各有其客观的近似对应物，可以选取任一个作为理论的经验始源。例如，可以是绝热壁^[9,10]，可以是绝热过程^[11]，也可以是热量^[12]，等等。这些定义方法实质上都是彼此等效的。局限在热学范围内，上述不同的方法在表述的简洁性和适用性上或许有精粗之分，但在逻辑的完美性上并无优劣之别。各种方法都可以平等地使用。

三、热力学能够完全建筑在力学概念的基础上吗？

上节是限于在热学范围之内说的。喀喇氏的工作被认为是首次突破了这一局限。例如，文献[11]中对喀喇氏工作的评价是：他“把热力学建筑在力学的概念之上”。这主要是指喀喇氏“给绝热过程下了一个纯粹力学的定义如下：

一个过程，其中物体的状态的改变完全是由于机械的或电的直接作用的结果，而不是由于纯粹外界改变所引起的，叫做绝热过程。”

使用绝热壁概念为出发点的，也有相似的定义。例如文献[9]里有这样的叙述：

“如任一处在完全内部平衡的系统，被一绝热壁所完全包围，则除了通过

- (a) 容器壁或其一部分发生运动；
- (b) 长程力，即带电物体的运动

之外,没有任何外界力量能使系统发生变化。”

比较文献[6]里提出的“先以力学和电磁学的词汇定义宏观功”,再“以宏观功定义热量”的做法,即他的

“定义1 一切力学的、电学的和磁学的,可以用仪器测量的功统称宏观功。……

“定义2 一个体系在非宏观功的过程里和外界交换的能量叫做输热或热量。”

可以看出,除了文献[6]里把宏观功定义为“可用仪器测量”,是否暗含着热量不可用仪器测量这一点颇为费解之外,这几种定义方法实际上差别不大。它们在本质上都是把能量交换形式分划为互相排斥的三种,即机械的、电磁的和热。其主要精神可以概括为以下一条简明的命题:

“热非力,亦非电。” (1)

首先,我们愿意提醒一下,在喀喇氏原本的工作中,只处理了具有确定的组分、体积和压强的气相或液相系统。事实上,在他的那篇经典性文献^[4]里,考虑了这样一个容器:器壁不必是刚性的,但当它保持静止和保持原来形状时,不管容器外的物质如何变化,都不能改变容器内的平衡。喀喇氏把具有这一物理性质的容器称为“绝热的”。可见,喀喇氏主要考虑了压缩功这一种非热的能量交换形式;他连表面张力都不曾顾及,更不消说结晶相、电磁场和引力场等等的。〔注〕

喀喇氏这种对热学的初始概念采取“纯粹力学定义”的做法,在逻辑上可以做到无懈可击。文献[10]把这种定义方法所得出的概念和定律统称为“狭义的”(in the restricted sense)。这套理论体系具有严谨的逻辑结构,假使世界上果真只有机械功和热,事情就到此为止了。

“不幸”的是,世界并不那么简单。在上面的一套漂亮的逻辑体系中,是不能包含例如绝热去磁等过程的。为了补救这一缺陷,人们后来又在机械功之外加上了电磁形式的能量交换,形成了命题(1)所代表的说法。

也许会认为,这样略加推广并不影响事情的本质。但实际上绝非如此。

首先,既然电磁学不能归结为力学,那么,把此类定义仍然说成“纯粹力学的定义”,委实可疑得很。

其次,这一步推广也带来了一些微妙的问题。例如,大家知道,热辐射是热量交换的一种形式,而热辐射本质上乃是电磁场的一种运动形式。那为什么同是电磁场的作用,有时候算做热,有时候又算做功呢?还有,机械的压力、张力以及摩擦力等都是微观分子间(范德瓦尔斯)作用力的表现,而后者又起源于粒子间的电磁作用。如果寻根究底,一开始也难以说得清楚这类涉及分子间相互作用的问题那些属于力学,那些属于电学,那些既非力亦非电。

不仅如此,大家知道,已发现的基本长程力除电磁力之外,还有万有引力。引力和电磁力在本质上是平等的。为什么在命题(1)里却明显地没有引力的地位?或者,在命题(1)中还要加上“热非引”吧?但这样也不无问题。因为,虽然引力波的存在尚未得

〔注〕喀喇氏自己在文中曾反复提及焦耳(“热功当量”)实验,然而对于这类实验中已经涉及到的电功(通过电流)却明显地未予考虑。

到直接的实验确证,原则上不能排除它的存在。那末,除了通常所说的热辐射即“热电磁辐射”之外,会不会还有必须考虑“热引力辐射”的情况呢?……

总而言之,我们认为,喀喇氏的工作明显地带有他所处时代的特点和局限。一方面,在最终清除“热质说”的影响上有其功绩;而另一方面,也具有本世纪初尚未尽失其优势的机械论的特征。他那优美的逻辑体系无从反映现代物理学多方面的发展进步。站在今天的认识水平之上就不难看出,喀喇氏体系的逻辑严谨性却是以对物理世界的过分简化为前提的。

四. 我们已经无遗漏地掌握了所有的能量形式了吗? (以及有关的逻辑学问题)

思想再解放一点,还可以提出本节标题所表述的问题。

兰茨伯(P.T.Landsberg)的书^[10]被认为是喀喇氏途径现代型的代表。在他的体系中,一开始需要这样的前提:

“假定只除一种之外,我们已经完全掌握了所有形式的能量的特性。” (2)

这里所说的那种未掌握的、被称为x形式的能量交换,实际上就是热量。这样一来,热量被确定为所有其他已知能量形式的对立物。可以看出,这本质上是上面提到的命题(1)的推广:什么是热?

“热非力,亦非电,……亦非 $\times\times$ 。” (1')

承认了命题(2)的正确性,就可以从实质上与它等价的命题(1')出发,重复基于命题(1)的讨论,得出一种在广泛得多但却也是指定范围之内严谨的理论体系,它可以在已知领域内有各种应用。

然而,从物理学的发展上看,命题(2)到底是靠不住的。(例如,人们对核作用的了解才不过几十年的历史。)在目前的物理学理论中,也没有任何原理限制着基本的(哪怕专指长程的)相互作用类型的数目。即使地球上确实只有这么些,也不能排斥在另一个新的太空区域内,会出现我们前所未见的新的基本(长程)力。一旦出现了未知的能量形式,这一套体系就不灵了,起码要“从头”作一番修正。

也许会争辩说,人们不应奢望一个物理理论永远有效。我们无意作此苛求。这里想强调的只是,如果发现命题(2)不真,则由推广的命题(1')而展开的体系就不能仅在逻辑上被认为是满意的。

不仅如此。从命题(1)过渡到命题(1'),虽则理论的应用范围扩大了,但对“什么是热”这个根本问题的解决,并无多大改善。因为,从逻辑上看,命题(2)实质上不外是将能量形式划分为两类:一类是我们(在热力学以外)已经掌积了的各种能量。另一类则是只有一种的“x形式”,即不同于前述所有形式的“热”。这样一来,如果统称第一类的所有能量形式为“非热”,那么命题(2)或命题(1')无非是说:热非“非热”。……绕了一个大圈子又回到了循环论证。

事情当真有这么严重吗?物理学家们的理论竟然会这样不合逻辑吗?让我们再审查一下涉及热的基本概念的命题(1)或命题(1')这种类型的逻辑学结构。

首先,形式逻辑告诉我们,起码对一个肯定性的概念,是不能使用否定性的定义的。因为,说A不是B、C、…D,只是表明A的性质与B、C、…D不同,并没有说出A本身所具有的性质。现在,命题(1)或(1')就犯了这一禁忌。说热不是力学的、电学的…等等的能量,的确没有规定热之所以是热的那些特征。我们也想不出来在物理学中还有什么别的使用否定判断来定义肯定概念的例子。

其次,形式逻辑还告诉我们,枚举法(简单枚举法)不是一种高明的方法。定义A是(或包括)B、C、D,并没有揭示出A具有什么特征。如果除了A、B、C、D以外,一旦遇到了定义中所不曾列出的E、F….,这一定义就无法运用。所以,枚举法只能作为摸索阶段的试探性的方法,它是同精密科学的理论结构不相称的。

我们无意在此复述逻辑学讲义,感兴趣的读者请参阅有关的书籍^[13]。我们只是指出,如象命题(1)或(1')所使用的方法,也许可以称为“枚举否定法”或“否定”枚举法”,它双重地违悖了严格逻辑的要求。几十年来许多作者沿着不同的道路苦心经营的各种热力学原理的逻辑体系,大都带有这一原则上的弱点。

话说回来,我们决不想一笔抹煞许多作者在这方面的努力和成果。而只是觉得,在这方面的各种自命为或被誉为“逻辑上最严密”的定义方法,“在逻辑上”并非无懈可击。我们并且想指出,这一问题作为“定义”是不可能具有严密逻辑结构的。

五. 结 语

如果认为热力学初始概念的引入具有公理的性质,那么上面所提到的逻辑上的困难自然不复存在。这是因为,公理是逻辑推演的前提,它是无需也不能通过逻辑推理的手续去证明的。换言之,一般的逻辑规则对公理来说是不适用的。所以,以上所提到的各种热力学初始概念的“定义”方法都是可以使用的,只要认为它们具有公理的性质,就不必为它们看起来不合逻辑而烦恼。

顺便说明一下,逻辑学将公理和定义严格分开,公理是不受任何定义规则限制的,所以逻辑学家们不再称之为定义。但是,通常人们并不分得那样清楚。例如上面提到过的列宁关于物质的定义^[9],实际上是作为哲学前提的公理。在物理学上,我们也常把一些含有公理性质的命题称为定义,约定俗成,未尝不可。这样,我们就看到了不合定义规则的惯性系“定义”,热量“定义”等等。作为“定义”,它们的确是不合逻辑的;但看成是公理,就不成问题了。

我们的结论可以概括为以下三点:

(一)热力学的初始命题及与之相关联的初始概念具有公理的性质。由于它们的这种地位,在初始概念的“定义”中,包含着循环论证的因素。这看起来是“不合逻辑”的,但又是不可避免的。

(二)从某种意义上说,热力学的实质即在于区分“热”与“非热”两类运动形式,并研究它们之间的共同性(第一定律)和热现象的特殊性(第二、三定律)。这种区分是对客观实在的抽象和映写。至于什么是“热”(或“非热”),却不是从一开始就能给予逻辑上严格的“定义”的;毋宁说,它作为“公理”而引入,而由此构筑起来

的整个热力学理论则回过头来提供了区分“热”与“非热”的完整框架。

同其他许多学科一样,热力学的初始命题和概念,不是由直接的实验来验证的。它的真理性,在于整个理论体系与客观实际的高度相符。我们说它所具有的“循环论证”不是空洞的或平庸的,正是因为它是沉浸于这个现实的背景之中的。

(三)分析和改进热力学理论逻辑体系的努力是有积极意义的。归根结底,人们愿意有一个逻辑上简洁和优美而不是累赘和蹩脚的理论。但不能设想,这类努力的结果会是“逻辑上绝对的干净”,即完全不求助于只能来自经验的、带公理性的概念。

顺便指出,某些作者在“绝热”定义中用了“外界条件”^[14]、“外参量”^[15]等概念。我们认为,这些概念的内涵同样是有待规定的。(实际上,在文献[11]和[14]中,“外界”一词就恰恰是在相反的含义上使用的。)在这里,它们充当了初始概念的角色。其他诸如用“广义坐标—广义力”等作为初始概念的做法,也都只是把困难转移到新的地方,并没有从根本上消除困难。不再一一赘述。^[16]

既然“绝对干净”不可能,就会有多种“相对干净”的体系,它们的逻辑严谨性基本上是平等的。这也许就是即使自喀喇氏以来,热力学教科书中的各种体系依然八仙过海,各显神通的一个原因吧!

考 参 文 献

- [1] 许良英、范岱年编译,爱因斯坦文集,第一卷,商务印书馆,1976,第161页。
- [2] 关洪,关于牛顿第一定律的实验检验,中大科研情报,1980,9—10;力学与实践,1980,4。
- [3] 列宁全集,第十四卷,人民出版社,1957,第146页。
- [4] C.Carathéodory, *Math. Ann.*, 67 (1909), 355.
- [5] R.H. Fowler and E.A. Guggenheim, *Statistical Thermodynamics*, Cambridge Univ. Press, 1939, P.56.
- [6] 颜戊巳,物理,9(1980),553.
- [7] O.Redlich, *Rev. Mod.Phys.*, 40(1968), 556.
- [8] P.T. Landsberg, *Pure Appl. Chem.*, 22 (1970), 215.
- [9] E.A. Guggenheim, *Thermodynamics*, North-Holland Pub. Co., 1959.
- [10] P. T. Landsberg, *Thermodynamics*, Interscience Pub., 1961.
- [11] 王竹溪,热力学,高等教育出版社,1955.
- [12] M. W. Zemansky, *Heat and Thermodynamics*, 5th ed., McGraw-Hill, Inc., (1968), P. 73.
- [13] И.Я. 楚巴欣, И.Н.布洛德斯基,形式逻辑,上海人民出版社,1981.
- [13] 朗道等,统计物理学,人民教育出版社,1964, P.47.
- [15] F. Rief, *Fundamentals of Statistical and Thermal Physics*, McGraw-Hill, Inc., 1965, P.66-68.
- [16] 顾世清,内蒙古大学学报,1981,2.