

# 从熵开始的热力学教学

德国 Karlsruhe 大学 F. Herrmann

陈敏华 译 (浙江省绍兴县职业教育中心)

## 一、引言

本文将证明,“以熵开始”是热力学教学的需要。在第二节,我们将介绍一个编写新的物理教程的规划,这一教程在卡尔斯鲁厄和汉堡作了试用。在第三节,我们论述了这一教程的物理基础。这一教程有三种不同的层次:一种是供10—12岁儿童用的,一种是供初级中学学生用的,另一种是供大学生用的。附录给出了初级中学教程中第五章的内容。

## 二、规划

规划的目的是要对整个物理学进行重新建构。为什么想到要作这种重新建构?这有几个原因。无论对中学教师还是对大学教师来说,最重要的原因是:对物理学的研究不断地给我们提供着新结论——新的实验事实和新的理论。然而,将物理知识传授给下一代的时间却没有增加。这是一个问题。解决的办法之一(尽管是一个不好的办法)是专门化:这样,“物理学”这门学科将被“固体物理学”、“等离子物理学”等专门学科所代替。

解决的另一个办法(这种办法至少对普通教育是重要的,我们认为是一种较好的办法)是:寻找原理的一般结构、寻找新旧物理知识的共同之处、寻找在各种新的理论中的综合性的东西,并将教学的注重点放在原理的综合性和一般性上。换句话说,用一种数据处理的方法去面对知识的膨胀。

也许有人会认为这已经是不可能的,因为一般结构的优势和潜力已充分利用和挖掘。我们认为,情况并不是这样。将看起来完全不同的物理学的各部分重新排列和组合的潜力尚很大。下面说说我们是怎样做的。我们总是首先研究物理学的某一部分或不同部分的某一共同方面,而没有去预计任何目标部分。只有当概念足够清楚时,才将物理学转换、翻译为一种特殊的教程。我们将首先编写大学教程,即最高水平的教程。以后我们才编写低水平的教程。只有这样,才能保证教程具有坚实和牢固的基础。

我们编写的教材已在数千名年龄在14—16岁的学生中试用过。

## 三、教程的物理学基础

我们可以这样说,任何一个大的物理学分支都有其独特的广延量,见表1。

表 1

广延量	内涵量	流的强度		
$\bar{P}$	$\bar{v}$	$\bar{F}$	$P = \bar{v} \cdot \bar{F}$	力学
$S$	$T$	$I_s$	$P = T \cdot I_s$	热力学
$Q$	$U$	$I$	$P = U \cdot I$	电磁学
$n$	$\mu$	$I_n$	$P = \mu \cdot I_n$	化学

对于广延量  $X$ , 总有一个内涵变量  $\xi$  (更确切地说, 能量结合变量) 与之对应。内涵变量由下式关系式定义为

$$dE = \xi dX$$

对于广延量, 它们有一个共同的特点, 就是对每个广延量都可确定相应的流和密度。它们之间可建立下列平衡方程式

$$dX/dt + I_x = \sum_x$$

上述方程特指空间某一区域。  $dX/dt$  是在这一区域内广延量  $X$  的变化率,  $I_x$  是通过这一区域表面的流的强度,  $\sum_x$  是在这一区域内  $X$  的产生率。我们把量  $X$  叫作“实物型量”。

我们可以说物理学各分支都有一个独特的广延量。然而, 我们更可以说, 物理学各分支都是由一个广延量表征的。这样, 我们就可以说, 力学是由动量和动量流表征的物理学分支。

从表 1 可以看出, 在物理学各分支之间存在着一种类比。这种类比是这样的: 我们先看某一支的一个关系式, 然后根据表 1 的第 1 到第 3 列, 将相应的变量转换一下, 就得到另一个分支的关系式。这样, 就允许我们根据相应的模型来解释一些基本的过程。实际上, 第 4 列的四个方程具有相同的结构。这说明这一类比具有深远的意义。有些类比是我们熟知的, 并广泛应用在教学中。一个典型的例子是在不可逆过程的热力学中, 我们对内涵变量的差异运用了“力”的表示法。

可以看出, 能量扮演着独特的角色, 当变换一个关系式时, 能量本身没有变换。因此, 能量并不是物理学某一支的表征量。能量起着更普遍的作用, 它把这些分支统一了起来。由于有了能量, 物理学各部分之间的关系在上世纪中叶才建立了起来。

顺便提一下, 在物理学中可以找到另一个相同的结构。这是由于能量有一个“妹妹”: 另一个统一物理学几个分支的量。这个量就是香农 (Shannon) 的信息量。它是光学、声学、电子学、计算机科学等其它分支学科所共同具有的量。

教程的一般框架就介绍到这里。在这一节的后半部分, 我们来讨论一下作为教程的热力学部分的基础的一些物理概念。

这些概念可以用建立热力学教程的三个必要条件来系统地加以阐述。

第一个必要条件来自于上述讨论。熵在热力学中起着和电量在电磁学中一样的角色, 而熵流和电流一样的角色。我们的结论是: 对热力学中熵的处理完全可以象我们在电磁学中对电量的处理一样。这一结论我们可以用下述更富有新意的方式来表述: 没有熵和熵流的热力学正象没有动量和力的力学一样, 也象没有电量和电流的电磁学一样。

也许有人会反对以上这一观点, 会夸大地说: “没有熵我们照样可以研究热力学, 但没有

电流我们就无法研究电学。”这种观点是错的没有电量我们照样可以研究电学。我们来看这怎么做：拿一本在很迟才引入熵的热力学教科书，然后根据表 1 把它转换过来，你就得到了电磁学的一部分。然而，这个电磁学是很奇特的。有人会有意地说：正奇特，这好象许多中学教科书中都有热力学的内容一样。

因此，我们的第一个必要条件是：从熵开始。

在讨论第二个必要条件前，我们再顺便提另一个问题：表 1 还有另外一些重要的结论：

——我们通常叫做“力”的量现在以动量流的形式出现。这就导致力学有一种完全一般的新形式。

——在进行热力学的化学部分的教学时，我们一开始就运用了  $\mu$  和  $n$  这两个量，避免了走弯路。

现在我们来谈第二个必要条件，它可以表述为：利用熵的实物型性质。

当学生熟悉一个新的物理量的时候，他们就必须学会如何描述这个量。我们谈及一个物理量的大小的方式部分地与我们对它的描述有关。有许多量需要很特别的词汇来描述它。例如，一个“力”既可以“施加”也可以“作用”，而不能用其他动词；“功”总是被“做”的，没有别的表示方法。对于广延量或叫“实物型”量，情况就完全不同了。我们可以用谈及物体、水或空气所用的动词来正确地谈及这些量。

这里，我们来说说电量：电量可以放在一个物体上，可以包含在一个物体上，可以被储存、积累、沉积、结聚、分布、涂抹；；它可以被带到另外的地方，引入某个地方，馈入某个装置；它可以被输送、传递、运输、提供、输出、拿走或取出；它可以消失，可以被遗失，我们可以找到它；它可以通过一根电线，能坠落到低电势；我们可以问“它在哪里”，也可以说“那儿有多少或没有电量。”

当然，同样的动词可以用于描述动量、能量和熵，但却不能用于描述“力”或“温度”！这一实物型物理量的性质可以帮助学生正确地对熵使用有关动词，只要他们知道这个量是实物型量。

我们的第三个必要条件是关于“热”这个词的用法。今天，在物理学中，它被认为是能的一种形式。虽然在所有教科书中这个词的用法不尽相同，但在  $Tds$  这个微分形式上却是相当一致的，即“热”表示能量转换的一个特殊过程。从而，动词的使用是很严密的。正确的说法是：“能量被转换成热的形式”，或“热被转换了。”

在很早以前人们已经注意到，“热”这个词在通俗的语言中比熵这个物理量更好一些。实际上，在日常通俗用语中，将“热”和熵等同起来仍然是正确的。另一方面，在许多句子中将“热”和  $TdS$  等同起来是不正确的。例如：“这杯咖啡含有许多热”。

教学经验使我们认识到，日常用语中的“热”和物理学家的熵之间的一致性存在于日常用语和物理量之间最完善的一致性之一。经过更多的教学实践，我们正式提出一个稍微有点争论性的结论：熵是最容易教的物理量之一。因而，我们的第三个必要条件是：利用日常通俗用语“热”和物理量“熵”之间的一致性。