



卡尔斯鲁厄物理课程

F. 赫尔曼 著,陈敏华 译

德国卡尔斯鲁厄理工学院物理教育研究所,德国 卡尔斯鲁厄 76128

编者按:赫尔曼教授主编的卡尔斯鲁厄物理教材(中文翻译版)在上海教育出版社出版。上海教育出版社的社长给我寄来了该教材的中文版,这是我首次了解这套教材。几年之后,该教材改编成员之一陈敏华老师(华东师大博士、浙江绍兴柯桥鉴湖中学物理特级教师)通过邮件联系了我,并介绍了赫尔曼教授及其教材。由此,我与赫尔曼教授开始了邮件联系,并进行了相关问题的探讨。

作为本刊主编,我向赫尔曼教授约了此稿,希望他整体介绍卡尔斯鲁厄物理课程,同时邀请了陈敏华老师帮助翻译。本刊将此内容推荐给广大物理教师,以期让大家获得来自不同研究视角的启示。——主编廖伯琴



中图分类号:G633.7

作者简介:赫尔曼(Friedrich Herrmann),教授,博士。1965—1971年,在法国里昂国家应用科学研究院从事固体物理学研究;1975—2004年,任德国卡尔斯鲁厄大学物理教育研究所主任,从事卡尔斯鲁厄物理课程的开发和应用研究及对来自不同国家(包括瑞士、智利、阿根廷、乌拉圭、哥伦比亚、古巴)的教师的培训;2007—现在,在上海多次开展教师培训活动。

摘要:卡尔斯鲁厄物理课程试图通过消除传统概念、重新建构内容和广泛运用实物模型来促使物理课程的现代化。该课程在欧洲已被试用了二十多年,并经过了试验和修改;在中国已被试用了近八年。本文将介绍该课程的结构,并讨论在物理学各分支学科中的相关教学问题。

关键词:卡尔斯鲁厄;物理课程;广延量;实物模型;实物型量

文献标识码:A

文章编号:1003-6148(2015)4-0001-4

1 引言

物理知识的总量在不断增加,而物理教学的时间基本保持不变。显然,这一事实要求我们不断地调整和重新处理已有的知识。本文正是要介绍在这方面所作的一种努力:一门在过去三十年中在德国卡尔斯鲁厄大学教育系开发的物理课程。我们已经为初中和高中开发了相应的教材^[1,2]。然而,我们的研究目的不是出版新的教材,而是开发一种新的适合各年龄段学生的物理教学方法。这个课程我们把它取名为卡尔斯鲁厄物理课程(Karlsruhe Physics Course)。

这个课程包含许多创新的细节。然而,它的特点从根本上来说基于以下三个观点:

1)物理学的发展历史是一条错综复杂的道路。尽管存在着更容易到达相同目标的捷径,但我们在教学中还是把这条复杂的道路强加于我们的学生身上^[3,4]。我们已经作出了努力,来将这些历史负担从物理课程中消除。

2)我们选择了一个物理教学的统一方法。这个方法基于在经典物理学和现代物理学中扮演着基本角色的一类物理量。这类物理量都是广延量(extensive quantity),它们是:能量、动量、角动量、电荷和熵。当我们强调广延量时,物理学各分支学科间的划分只不过是根据广延量在每种情况中所扮演的主要角色而对自然过程的分类罢了。仅仅一个物理学分支学科的知识就已经给我

基金项目:本译文系浙江省教科规划2013年重点研究课题“传统物理课程的不足之研究:课程考古学的方法”(SB067)的研究成果之一。

们提供了一个描述其他分支学科的一类方法。

3) 我们广泛地利用在传统课程中不大被重视的模型的优点。这个模型叫做实物模型(substance model)。

在下面的内容中,我们将介绍这一课程的基本理论依据、课程的结构、实物模型以及如何在这一课程中处理物理学各分支学科中的相应内容。

2 理论依据

卡尔斯鲁厄物理课程与传统物理课程有许多不同之处。然而,它并没有新的东西,即使有,也是建立在前人的工作之上或已被遗忘的著名科学家的观念之上。在下面的介绍中,我们将在合适的地方注明相应的出处。

1) 类比使得我们的课程显得非常简洁。然而,我们关于类比的知识来自于福克(Gottfried Falk)对热力学的公理性处理^[5]。福克的研究基础又可以理解为吉布斯(W. J. Gibbs)的热力学理论^[6]。

2) 把力学中的力理解为动量流源自相对于受人尊敬的经典力学时代的早期。普朗克(Max Planck)于1908年最早提出力是动量流这一观点^[7],这一历史时间不是偶然的。在这以前的三年前,相对论发表了。这时,人们开始明白能量和动量才是基本的物理量,它们不能被理解为是从被人们一直认为基本的物理量(如,质量、速度和力)中导出来的。然而,古老的经典力学的声望阻碍人们将这一新的对力的简洁理解放入基础物理教科书中。

3) 我们关于日常用语中的热完全与物理量熵的性质一致的观点出自乔布(G. Job)的研究结论。乔布本人在发表他的这一观点时还没有注意到很久以前卡伦德(H. L. Callendar)曾清晰地发表过相同的观点^[8]。显然,卡伦德的这一观点在那时已被遗忘了。

3 课程结构

3.1 实物型物理量

在卡尔斯鲁厄物理课程中,有一类物理量扮演着基本的角色。这类物理量就是广延量,我们又把它们叫做实物型量^[5]。这些实物型量包括质量、能量、电荷、动量、角动量和熵。每个实物型量 X 遵守连续性方程,其积分形式为:

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \Sigma_X \quad (1)$$

这个方程的优点在于,它允许我们将 X 解释

为实物或流体的量,将 I_X 解释为 X 的流强度,将 Σ_X 解释为 X 的产生率。这种“解释”意味着我们在运用“实物模型”于这些物理量。

根据这一模型可知,引起 X 值的变化的原因有两个:一是在所考虑的空间区域内的 X 的产生或消灭;二是通过这一空间区域的边界的 X 流。因此,方程(1)是量 X 的平衡方程。

对于有些实物型量,方程中的 Σ_X 总为零。在空间区域中的这些量只有当通过边界的 X 流不为零时才会发生变化。这些量叫做“守恒量”。能量和电荷就是这种守恒量。

另一种实物型量,如,熵,它的值可以通过它们的量的产生或消灭发生变化。因此,实物型量不一定是守恒量。

实物型量不一定是标量。动量和角动量这两个实物型量就是矢量。

3.2 类比

当我们将广延量作为构建课程的基础时,我们可以在物理学各分支学科之间建立起意义深远的类比。

根据表1,广延量电荷 Q 、动量 p 和熵 S 一一对应。同样,对于强度量电势 φ 、速度 v 和绝对温度 T 也有这样的对应关系。对于每一个广延量都有一个对应的流:电流 I 、动量流(或叫力 F)和熵流 I_S 。

一个分支学科(表1中的第一列)的量之间的许多关系式在另一个分支学科中有着对应的关系式。在表1中最后一列给出了这种关系式的例子,这一列的关系式是对能量传递的描述。

表1 卡尔斯鲁厄物理课程的结构

分支学科	广延量	流	强度量	能流
电学	电荷 Q	电流 I	电势 φ	$P=U \cdot I$
力学	动量 p	力 F	速度 v	$P=v \cdot F$
热学	熵 S	熵流 I_S	温度 T	$P=T \cdot I_S$

在表1的类比关系中,能量与别的量没有类比关系。因此,在所有的实物型物理量中,能量扮演着特别重要的角色。能量不是任何物理学分支学科的特征量,它对所有分支学科都重要,它起着联系各分支学科的作用。

4 实物模型

质点模型也许是经典物理学中大家最熟悉

和最成功的模型。然而,在当今所流行的模型中,有一个模型也具有悠久的历史,但从来没有被人们像质点模型那样所认识。它甚至没有相应的名称。我们建议把它叫做“实物模型”。正像这一名称所指的意思一样,物理概念可以被想象为一种流体或实物,或更通俗地说,一种“东西”(stuff)。这里,实物的概念必须被理解为日常用语中的含义。这个模型的早期应用就是将电荷想象为实物或流体。因而,就有了 I 这个量的名称电“流”。

我们建议广泛地使用这个模型,而不局限于已经被传统地应用的地方。我们将介绍三个非常特别的实物模型的应用:将广延量类比为实物;将场比喻为实物;把在某点找到粒子的概率密度解释为实物密度。

请注意,当我们将某一广延量的数量(如,一部分电磁场或波函数的平方值)比喻为某种实物时,我们并不意味着它们是真正的实物,我们所做的仅仅是对一种模型的应用。然而,一种模型从来没有对错之分,而只有较适用和较不适用之分。

4.1 实物模型中的物理量

当我们对实物型量进行造句时,我们可以运用关于实物的一些词汇:一个物体含有一定量的电荷,电荷储存在物体中,电荷可以从一个地方流到另一个地方,电荷可以积累、集聚、稀疏、分配、减少、收集等等。为何我们有这么大的自由度来描述电荷?因为我们运用了它的实物模型。学生们在学科学之前就已熟悉了这些语言。强调这些量的实物型性质对科学教学是非常重要的。

在传统科学教学中,我们没有利用实物型量的优点。通常,实物模型仅仅用在质量和电荷上。相反,能量、熵和动量是从别的物理量导出来的。这样,它们的实物型性质被掩盖了。

然而,这个模型的真正强大的功能来自于这样一个事实:它不仅可用于电荷,也可用于其他广延量。正像电势差可解释为电流的驱动力,温差也可看作是熵流产生的原因,速度差是动量流的驱动力。(汽车由于摩擦而流失的动量随着汽车速度的增加而增加。)如果我们将这一模型不但运用于电学,而且运用于其他有耗散的现象中,我们将节省很多教学时间。

最后,我们对实物模型做一个更大的拓展。表 1 中最后一列的公式告诉了我们描述能量传输

的一幅简单图像。我们把与能量同时一起流动的实物型量叫做能量携带者(energy carrier)。这样,能量被动量、电荷、熵或物质的量所“携带”。在传统上叫做能量转换器的装置中所转换的实际上是能量的携带者。能量与一个携带者进入能量转换器,然后“转运”到另一个携带者,并与这个新的携带者一起离开这个装置。

4.2 实物模型中的场

通常,场是被当作一种非常特殊的物质来介绍的。我们是这样来描述场的:场是具有某些性质的空间区域,电场是带电体周围的空间。实际上,这样的描述给人的印象是,场是一个相当神秘的概念。有人建议,把场描述为具有某些性质的空的(empty)空间区域,或甚至建议,把场描述为具有某些性质的虚空(nothing)。

事实上,我们没有必要把场弄得这么神秘。场是一个物理系统(physical system)。跟其他物理系统一样,场有各种不同的状态,在每一种状态下,对应的物理量具有一定的值。像其他物理研究对象一样,电磁场具有能量、动量、熵和压强(或叫力学应力)。在某些状态下,它具有温度。当提及场时,我们没有必要应用不同于描述某种材料(如,某种气体)的方式。

在向人们解释什么是空气时,我们完全可以说空气是具有某些性质的空间区域。然而,这种解释是非常没有启发性的。对于场也一样,我们不应该说场是具有某些性质的空间区域,而应该清楚地把它说成是具有哪些性质的一种物体(object)。实际上,当我们以这种方式来描述场时,我们所运用的正是实物模型。

然而,为了充分有效地运用这种模型,我们必须修正我们的用词。我们需要对所描述的物体取一个名称,对这个物体所组成的材料取另一个名称。上面第一个概念的名称已经有了,那就是场。第二个概念在传统物理学中还没有相应的名称。在卡尔斯鲁厄物理课程中,我们暂且把它取名为“场素”(德文为 Feldstoff)。

4.3 实物模型中的电子

我们通常认为原子是由原子核和电子壳层组成的。这种说法经常会产生认知冲突。我们会说,电子是一个小的物体,它绕着原子核运动,然而它没有轨道。为了避免这种认知冲突,我们选择了一种模型。在这种模型中,当电子处于能量本征

态时,它并没有运动。根据这一模型,原子核被一种叫做电素(electronium)的实物包围着。电素的密度就是我们通常所说的电子密度,或叫在某点找到电子的概率密度,即波函数的平方(对于只有一个电子的系统来说)。电素密度现在可以用X射线衍射技术加以测定。

5 课程内容

下面我们来介绍根据以上课程观念所设计出来的具体课程内容。然而,这里也不是对课程内容的总结。

5.1 力学

根据我们的课程结构,动量是力学的核心概念。它确定了力学这门学科的性质:力学是物理学中研究动量及其流(和角动量及其流)的分支学科。因此,很自然地我们必须在力学中最先来引入动量。动量可以直觉地理解为对物体运动的量的测量。

动量能从一个物体流到另一个物体。在有摩擦或耗散的过程中,动量会自发地(spontaneously)从高速物体流向低速物体。如果想让动量朝与自发流动的方向相反的方向流动,我们需要一种叫做“动量泵”(momentum pump)的装置。通常,电动机可以用作动量泵。

如果用动量流来表述牛顿定律,它们就成为动量守恒定律的表达式了。因为动量守恒定律(正像电学中的电荷守恒定律)从一开始就被假定为成立的,牛顿定律的表达式就不再需要了。

5.2 热力学

正象力学从动量开始,热力学应该从熵开始。我们所倡导的熵的直觉理解就是日常用语中的热或热量(amount of heat)的意思^[8,9]。熵在摩擦过程中会产生。热力学第二定律可以这样来表述:熵会产生,但不会消灭。

熵自发地从高温物体流到低温物体。在这一

过程中也有熵产生。

如果要想让熵朝与自发流动的方向相反的方向流动,我们需要熵泵(entropy pump)(在技术上叫做热泵)。

5.3 电学

在我们的课程中,电学的结构并没有大的变化,这是因为在传统的电学课程中已经运用了实物模型。电荷自发地从高电势处流向低电势处。如果要想让电荷朝与自发流动的方向相反的方向流动,我们需要“电泵”(electricity pump)。电池和发电机都是电泵。

磁场被描述为一种很具体的东西,这种东西附着在磁极和通电导体上。

参考文献:

- [1]<http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index.html>
- [2]F. Herrmann,G.Job 著.陈敏华译.德国卡尔斯鲁厄物理课程中学物理 1-3 和教师用书[M].上海:上海教育出版社,2007.
- [3]F.Herrmann,G.Job. The historical burden on scientific knowledge[J].Eur. J. Phys. 1996, (17), 159.
- [4]F. Herrmann ,G.Job 著.陈敏华译.物理学史的历史负担[M].上海:上海教育出版社,2014.
- [5]G. Falk, Theoretische Physik, Band II, Thermodynamik, Springer (1968), Berlin
- [6]J. W. Gibbs. The scientific papers of J. Willard Gibbs vol 1 Thermodynamics, Dover Publications (1961), New York
- [7]M. Planck, Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allgemeinen Dynamik, Phys. Z. 9 (1908), p. 828-830.
- [8]H. L. Callendar, The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle, Proc. Phys. Soc. London 23 (1911), p. 153-89.
- [9]G. Falk, Entropy, a resurrection of caloric - a look at the history of thermodynamics, Eur. J. Phys. 6 (1985), p.108-115.

(栏目编辑 廖伯琴)