

对 DPG 关于 KPK 报告的答复

F. 赫尔曼著，陈敏华译

译者说明：2012 年秋，德国物理学会（Deutsche Physikalische Gesellschaft, DPG）收到一些专家对德国卡尔斯鲁厄物理课程（Karlsruher Physikkurs, KPK）的反对意见（简称“专家意见”，expert opinion）。2013 年 2 月，德国物理学会根据这个“专家意见”在网上发表了长达 15 页的反对德国卡尔斯鲁厄物理课程（Karlsruher Physikkurs, KPK）的报告。2013 年 2 月 13 日，KPK 的作者赫尔曼（F. Herrmann）教授收到了 DPG 的信。这封信通知他在 2013 年 2 月 27 日之前对这个报告作出答复。赫尔曼于 2013 年 2 月 25 日提交了他的答复。本文根据赫尔曼所提供的“答复”的英文版翻译而成。

概述

此答复包括三部分。第一部分列出了有关文献，这些文献与 DPG 报告中所提及的内容有关。这里仅仅作了简单的解释，具体细节参见相应的文献。这些文献与 DPG 报告的意见是不一致的。

第二部分对 DPG 报告作了详细评论。

第三部分没有翻译成英文。这部分内容是汉堡大学物理化学学院乔布（Georg Job）博士的一篇论文。KPK 初中版第 10 到 14 章和第 24 到 26 章和高中版第二册关于热力学和化学的观点都是乔布提供的。

（译者注：乔布是 KPK 初中版的第二作者）

KPK 所基于的文献

力学中的动量流

普朗克 (Max Planck) 最早提出了力等同于动量流的观点:

M. Planck: *Physikalische Zeitschrift*, 9. Jahrgang, Nr. 23 (1908), p.828

摘要:“能量的不变性导致能流概念的产生, 同样, 运动的量的不变性导致运动的量的流 (简称动量流) 这一概念的产生。”

后来, 动量流或动量通量的概念出现在一些物理学文献中。然而, 它们都是高级水平的文献。

Weyl, H.: *Die Naturwissenschaften* 12, III(1924)

Landau, L. D., Lifshitz, E. M.: *Theory of Elasticity*, Chapter 1, Section 2, Pergamon press, Oxford (1959)

Landau, L. D., Lifshitz, E. M.: *The Classical Theory of Fields*, Chapter 4, S. 91, Pergamon press, Oxford (1962)

Falk, G.: *Physik-Zahl und Realität*, Birkhäuser Verlag Basel, 1990, S. 70.

(译者注: 福克 (G. Falk, 1922.8.16-1991.10.20) 是 KPK 的创始人, 曾是德国卡尔斯鲁厄大学物理学教授。)

Fuchs, H.: *The Dynamics of Heat*, 2nd edition, Springer, New York, 2010, S. 75.

(译者注: H.Fuchs 是瑞士苏黎克应用科学大学物理和数学系教授。他夫人 Robin Fuchs 是 KPK 初中版的英文译者)

早在上世纪七十年代我们就发现了动量流在给初学物理的学生的教学中的优势。A. diSessa 也独立地提出了相同的观点。

Herrmann, F.: *Mechanik-Abriss einer Neudarstellung, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts*, Heft 3, Herrmann Schroedel Verlag, Hannover(1979), S. 80-87.

diSessa, A.: *Momentum flow as an alternative perspective in elementary mechanics*, *Am. J. Phys.*, Volume 48 365-369 (1980)

(译者注: A. diSessa 是美国麻省理工学院教育研究部教授)

我们的研究小组研究了动量流这个概念在中级水平的物理教学中的应用情况。下面是我们所发表的有关研究结果：

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Statics in the momentum current picture, *Am. J. Phys.* **52**, 146(1984)

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Momentum flow in the electromagnetic field, *Am. J. Phys.* **53**, 415(1985)

Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Analogy between mechanics and electricity, *Eur. J. Phys.* **6**, 16-21 (1985)

Heiduck, G., Herrmann, F., Schmid, Gary B.: Momentum flow in the gravitational field, *Eur. J. Phys.* **8**, 41-43 (1987)

（译者注：以上四篇文章的中文译文均发表在：陈敏华编译，《社会中的能量和信息》，绍兴师专学报自然科学教学专号，1993）

Grabois, M., Herrmann, F.: Momentum flow diagrams for just-rigid static structures, *Eur. J. Phys.* **21**, 591-601 (2000)

熵即热

20 世纪初以来，在一些科学文献中人们多次提出，物理量熵的性质在很大程度上与人们日常生活中热的概念是一致的。然而，早在 1780 至 1850 年期间（在当时，熵是一个状态量）熵在很多方面就已经与物理学中热的概念是一致的。

（译者注：在 1780 至 1850 年期间，曾经有两位学者提出作为状态量的热的概念。这个概念等同于克劳修斯于 1865 年提出的熵这个物理量。

第一位学者是苏格兰化学家布莱克（Joseph Black, 1728-1799）。他在 18 世纪中叶提出了这样的观点，温度是热的强度（intensity of heat），因而是强度量（intensive quantity）；而热量（amount of heat）则不同，是广延量（extensive quantity）。布莱克还认为，热量可以在温度差的驱动下流动。因此，布莱克的热量不同于我们现在所说的热量，他的热量是一个状态量，而不是过程量。因而，布莱克的热量与克劳修斯的熵是同一个物理量。后来法国化学家拉瓦锡（Antoine-Laurent Lavoisier, 1743-1794）把布莱克的热量取名为热质（caloric）。

第二位学者是法国工程师卡诺（Nicolas Léonard Sadi Carnot, 1796-1832）。卡诺在研究热机效率时运用热质的概念提出了卡诺原理：热机所产生的动力不是

由于热质的消耗，而是由于热质从高温物体到低温物体的传递。他把蒸汽机与火车类比。他认为，我们可以恰当地把热的动力和瀑布的动力相比。瀑布的动力依赖于它的高度和水量，热的动力则依赖于热机所用的热质的量和交换热质的物体之间的温度差，这一温度差可以称之为热质的下落高度。显然，如果我们不把热质看作是一种物质，而把它看作是一个物理量，如果我们承认热质是一个不守恒的广延量，那么，卡诺原理是完全正确的。因此，卡诺的热质与布莱克的热量一样，也等同于克劳修斯的熵这个物理量。）

Callendar, H. L.: The caloric theory of heat and Carnot's principle, *Proc. Phys. Soc. London* **23**, p. 153 (1911)

摘要 (p178): “最后，到 1865 年，当它的重要性被完全认识时，克劳修斯把它取名为“熵” (*Pogg. Ann.* **125** p.390)，并把它定义为 dQ/T 的积分。这种定义只有对数学家才有吸引力。公正地说，我们应该把它叫做热质，并直接根据卡诺的公式 $W=AQ(T-T_0)$ 来定义它。这对每个学生来说都能理解。甚至对数学家来说，如果把热质想象为象电一样的流体（这种流体能在摩擦或其他不可逆过程中产生出来），他们也能理解。热质的传导与电子有密切的关系。因此，有关热的科学可以象电的科学一样将热量的概念与物质概念联系起来，使其与热能这个物理量相区别。”

(译者注：此文是英国学者卡伦德在 1911 年伦敦物理学会的会长演说。卡伦德是克劳修斯提出熵后第一个提出“熵就是热质”的学者)

Job, G.: Neudarstellung der Wärmelehre-Die Entropie als Wärme, Akademische Verlagsgesellschaft Frankfurt (1972)

(译者注：此书为大学热力学教材，其中文版已于 2010 年出版。参见 Georg Job. 新概念热力学[M]. 陈敏华译. 上海:华东理工大学出版社,2010。乔布是继卡伦德后第二个提出“熵就是热质”的学者)

Hund, F.: Geschichte der physikalischen Begriffe (Teil 2) B • I•-Hochschultaschenbücher Bd. 544, Bibliogr. Institut Mannheim (1978)

摘要 (p105): “在历史上， Q 这个概念最早是在 18 世纪为了解释测量热的实验而提出来的。后来在 19 世纪它被证明在描述热传导现象中也是有效的。为

此，热学中一开始就出现了 Q 这个概念。至于它与 S 的联系，那是后来的事了。因此，当时人们先从非可逆过程开始。今天我们也可以（象乔布那样）在一开始教热现象时就引入 S 这个概念。我们通过可逆卡诺过程来引入 S ，并把它叫做热。我们可以用能量守恒定律来理解热的测量过程和传导过程。通过能量守恒定律我们可以获得熵（“热”） $\Delta_Z S$ 提供和熵（“热”）产生 $\Delta_P S$ 的概念，也可以获得热能提供和比热能 c_p 和 c_v 的概念。”

Falk, G.: Entropy, a resurrection of caloric—a look at the history of thermodynamics, *Eur. J. Phys.* 6, 108-115(1985)

摘要：“与我们通常的看法相反，由克劳修斯引入物理学的熵不是一个新的物理量，而是对比当时早一百年由苏格兰化学家布莱克提出的“热量”(quantity of heat)这个量的改造。卡诺在作为热力学基础的著作中，以“热质”(calorique)这一名称也运用过这个物理量。熵和布莱克的“热量”仅仅是一个物理量的两个不同名称而已。这一认识不仅在历史上具有重要性，而且在热力学教学中也具有重大意义。它表明，熵可以被想象为一种遵守“半守恒定律”的实物：它可以产生，但不会消灭。”

（译者注：此文的中文译文发表在：陈敏华编译，《社会中的能量和信息》，绍兴师专学报自然科学教学专号，1993）

Job, G., Ruffler, R.: Physikalische Chemie- Eine Einführung nach neuem Konzept mit zahlreichen Experimenten, Vieweg+Teubner Verlag, 2010.

摘要(p.45):“熵 S 和温度 T 是热力学的核心概念。温度对大家来说是很熟悉的，而熵对大家来说都感到特别难学，它是物理化学概念中的一只“黑羊”。以前，中学物理教科书根本没有提及它，大学基础物理教科书只提一下它，即使在这一领域的专家们也试图回避它。

然而，我们为什么要回避熵呢？实际上，它是一个简单的概念：它就是我们在日常生活中所说的热！粗略地说，它是给一锅饭加上去的東西，是一杯热咖啡在冷却时所损失的東西，是在电热板上、在微波炉中和在油炉中产生出来的東西，是在热水中所传输的東西，是热辐射器所辐射出来的東西，是房间的绝热墙壁保护起来的東西，是穿在人体上的毛织衣服所保护起来的東西。不幸的是，“热”这个名称给了另外一个量，是它抢走了 S 的本来含义。结果，我们现在用一种抽

象的方式来引入熵，即用能量和温度的比值的积分来引入熵。这样，它就成了一个很难被掌握的概念。”

Fuchs, H.: The Dynamics of Heat, Springer New York, 2010

摘要(p.116): “我在这里在解释热学过程中所说的热这个量在卡诺和他的同时代人看来就是热质。这个容易想象和容易进行直觉理解的量刚好就是 18 世纪 50 年代在物理学、化学和工程学中叫做熵的那个物理量。因此，熵这个热力学中以标准的形式呈现出来的量被认为是形式化的、推导出来的和没有直觉联系的。然而，它却具有简单和直觉的基础。它可以分别与流体中的体积和电学中电荷量相类比。”

磁荷和磁单极

在 KPK 中有一个叫做磁荷的量。这个量在文献中通常叫做磁极强度，有时也叫做磁荷。麦克斯韦把它叫做磁量（amount of magnetism）。

Maxwell, J. C.: A Treatise on Electricity and Magnetism, Volume 2, 1873

摘要(p.7): “377.磁体的一个极的磁量一定等于另一个极的磁量，但符号相反。更一般地说，每一个磁体的总磁量（代数和）为零。”

Sommerfeld, A.: Elektrodynamik, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 1964

摘要(p.39): “现在我们回到 (9)，并写出左右两边的矢量的散度。这样，我们就得到静磁学的泊松方程：

$$\Delta\psi = -\rho_m.”$$

摘要(p.78): “我们再回到条形磁体和磁极强度 P 的定义。根据我们的观点，它是一个广延量：

$$P = \oint H_n d\sigma,$$

[...]。这个 P 的定义相当于磁体密度的定义式 (7.2)，即 $\rho_m = \text{div}H$ 。这个式子告诉我们， P 等于半根条形磁体中的所有磁量 $\rho_m d\tau$ 之和。”

Macke, W.: Elektromagnetische Felder, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig, 1960

摘要(p.78): “所有电学理论的结论(1)都可以直接迁移到静磁学理论的结论(2)。然而,所有磁荷密度都是由磁偶极子引起的。相应地,(224.7)描述的是:

$$\rho_m(\vec{r}) = -\sum_i \vec{m}_i \frac{\partial}{\partial \vec{r}} \delta(\vec{r} - \vec{r}_i), m = q_m \vec{a}.$$

此式表示处于 r_i 的磁偶极子 m_i 的磁极密度。”

Jackson, J. D.: Classical Electrodynamics, 2nd edition, John Wiley & Sons New York, 1975

摘要(p.193): “这样,与(5.93)一起它成为静磁学的泊松方程:

$$\nabla^2 \phi_M = -4\pi\rho_M.$$

这里,有效磁荷密度为:

$$\rho_M = -\nabla \cdot M,$$

式中, M 是磁化强度。”

对 DPG 报告的评论

以下所说的“作者”指 DPG 报告的作者。从报告中引用的内容用另一种字体（楷体）印出。

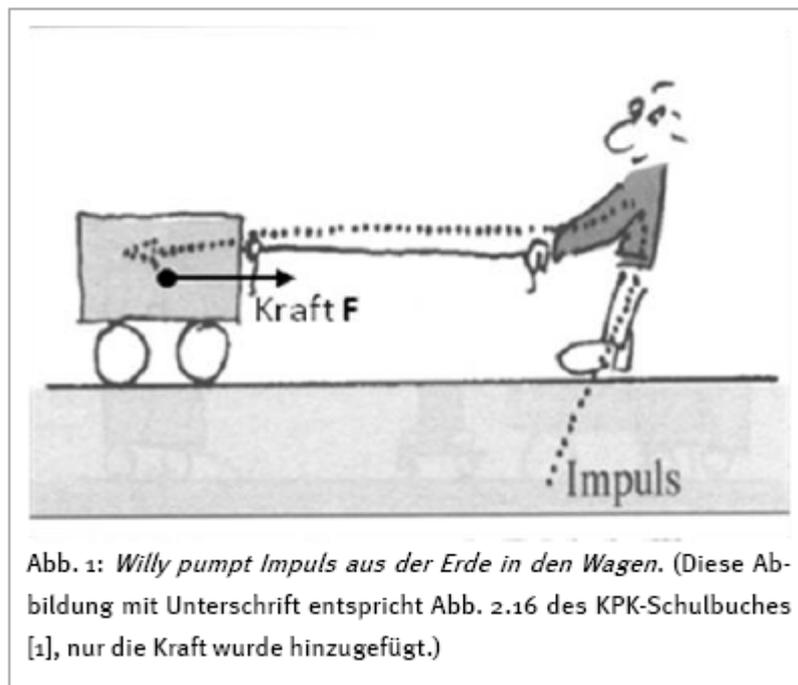
力学中的动量流

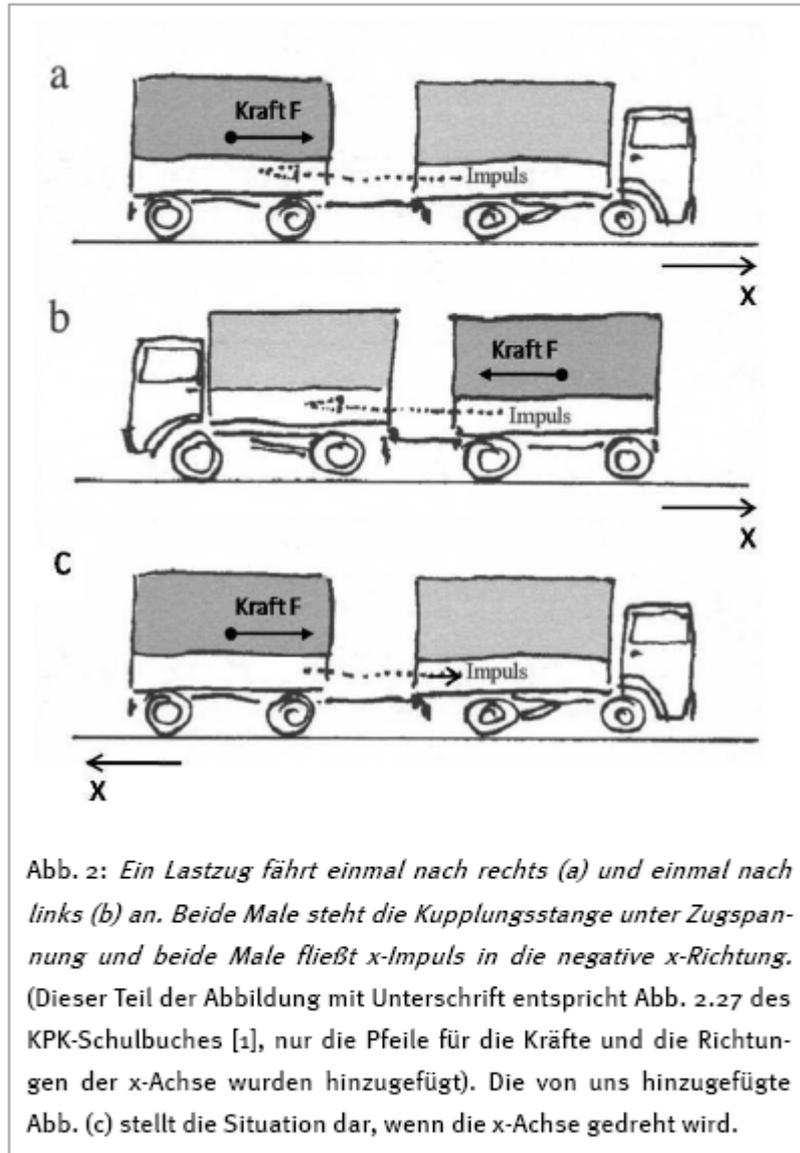
第 2 页和第 3 页：

如果我们分别用力或动量流来描述卡车的加速，那么，它们的大小和方向必须是相同的。在下面的描述中，它们的大小没问题，然而，它们的方向却存在着差异。

.....

在图 2a 中，一辆卡车向右拉着一辆拖车(这个情况跟图 1 所示的情况相比较)。根据 KPK,动量流向左流,而力的方向向右.在图 2b 中,卡车和拖车转了 180 度。根据 KPK，在从图 2a 到图 2b 的变化过程中，动量流的方向不变。相反，拖车受到的力的方向转了 180 度。在这两种情况中，力都指向卡车。这是很合理的，因为这个力是使拖车加速的原因。





评论：作者的错误产生的原因是，他把流的方向与**流强度矢量**（current strength vector）的方向混同起来了。

在物理学中，我们把**流密度矢量**（current density vector）的方向理解为一个标量的流的方向。

如果一个流动的量本身是一个矢量（因而，其流强度也是矢量），那么其流密度是第二级张量（a second rank tensor）。在我们所讨论的情况中，这个张量叫做应力张量。我们可以分别来考虑动量和动量流强度的三个分量，把它们当作三个标量（假如坐标系不再旋转）。现在，每个动量分量有一个对应的流密度矢量和一个流方向。这三个矢量的分量是应力张量的三条线。我们可以用它的笛卡耳分量把它写成一个矩阵。

显然，动量流矢量的方向不同于动量流强度(=力)矢量的方向。在我看来，作者把这两个方向等同起来了。在 KPK 的相应章节中，矢量还没有出现。在那里，我们还没有向学生介绍矢量。因此，我们仅仅向学生介绍只有一个方向的动量。所以，在那里还没有出现动量流强度矢量的箭头，因为动量流强度在这里只有一个分量。然而，这里已经有动量流密度矢量的方向。

在后面的第六章 6.2 节“流的方向和流动着的量的方向”中，KPK 讨论了这个问题。在这一节中我们向学生提醒：

“不要将所传递的动量的方向和动量流动的路径的方向混淆起来。”

如果两个学生所确定的方向或坐标系不一致，另一个问题便产生了。对于动量流的方向他们将给出不同的答案。他们的答案都是正确的！对于这样的问题我们要问：KPK 所规定的动量流方向是否对应于一种客观实在，或者仅仅是一种任意的规定。在后面我们还将讨论这些问题。

评论：这确实是一个问题。但这种任意的规定在物理学中是很常见的。在给出一个物理量的值之前，我们必须选择一个零点或参考系。一辆汽车以 40km/h 的速度向东行驶。这个速度是正的还是负的？这取决于我们如何确定速度轴。但是，我们也可以对同一辆车的速度按其他参考物（例如太阳）来确定。这对学生来说是必须学会处理的问题。任何物理课程都会遇到这个问题。只要我们用数学的方法开始处理某一物理现象，这个问题就会马上产生出来。

第 4 页：

由于我们感觉不到系统的运动，所以聪明的学生会问：我们如何来证明弹簧中确实有东西在流动。一个更难以回答的问题是：在一个明显对称的系统中，为什么有一个方向会有区别？如果老师认为情况就是这样，那么我们如何来证明这种情况？[...]是否有象安培表那样的测量工具来测量 KPK 所说的动量流？这样的测量工具在 KPK 教材中没有给出。

评论：在 KPK 第 36 页（中文版第 39 页）介绍了这种测量工具：

- 弹簧处于拉伸状态：动量向一个方向流动，
- 弹簧处于压缩状态：动量向另一个方向流动。

然而，从商场里买到的弹簧秤对压强是没有反应的。

顺便提一下，我们已经做出了能改变极性的弹簧秤。当电流的方向改变时安

培表的指针偏转方向也随之改变。同样，当动量流计的两个极变换后，它也能指出相反符号的值。请注意：变换两个极并不意味着变换整个仪器（对于安培表来说同样什么也没有改变），但是内外极必须对换。内极就是弹簧秤的中心圆柱，外极就是外面的圆筒。

这样，弹簧秤相当于一只白炽灯，而不是一只安培表。

评论：白炽灯之所以对电流的方向没有反应，是因为公式 $P=UI$ ；在这个公式中，当电流方向改变时， U 和 I 的符号都将改变。对弹簧秤不存在这样的说法。因此，弹簧秤相当于安培表。

因此，KPK 中的动量流的方向可以任意改变。只要我们选择了一个新的坐标系，动量流的方向就跟原来的系统无关了。由此我们得出结论：KPK 的动量流的方向并不是系统的一个性质。

评论：一个量的大小和方向会随参考系的变化而变化。这一事实并不能说明这个量没有描述系统的性质。

第 5 页：

实际上，在自然界中没有这样的流。因此，KPK 动量流在物理学的结构中是没有地位的；当然，在物理教学中也是没有地位的。

评论：在物理学中有否动量流，这在教科书中就可以看明白。其实，在教科书中是有动量流的。

（译者注：在我翻译本文的过程中，我与赫尔曼教授就物理量和物理实在的关系问题又一次作了讨论。下面是他在讨论中的其中一段话：

If there are momentum currents in (serious) textbooks, then there are momentum currents in physics. Here by momentum current is meant the physical quantity with its name. Physical quantities are human inventions or definitions, which are used to describe nature. So in order to know if a physical quantity exists, you must not look at the natural phenomena, but you must look at the books, which are written by men.

其意思是：如果教科书中有动量流，那么在物理学中就有动量流。动量流是物理量的名称。物理量是人们为了描述自然界而发明的、定义的。所以，如果你想要知道物理量是否存在，你不能从自然现象中去找，而应该从教科书中去找，

因为人们把它写进了教科书。

有关这方面的论述参见：

陈敏华. 物理实在和物理量[J]. 物理教师, 2013 (2): 73-74, 83)

热力学中的熵和热

第 6 页：

对于热和能，学生已经有一定的前概念了。对于熵，情况就不是这样了。

评论：我们并不这样认为。对于熵，学生已有很好的前概念了。有关这方面的资料可参见前面所提到的文献。例如，卡伦德 (Callendar) 在文献中这样说：“公正地说,我们应该把它叫做热质，并直接根据卡诺的公式 $W=AQ(T-T_0)$ 来定义它。这对每个学生来说都能理解。”

人们都知道，熵是最难学的物理量之一。

评论：这确实是一个普遍的观点。然而，相反的观点也是很普遍的（参见相关文献）。

第 7 页：

但是，这并不是把熵等同于热（甚至是“日常生活中所说的热”）的理由。这两者有不同的测量单位。这也是不能把它们等同起来的理由之一。热的单位是焦耳，而熵的单位是焦耳/开。

评论：KPK 并没有把熵和热（或其他能量性质的量）等同起来。

然而，上述这句话的逻辑是不正确的。我们不能说在日常生活中所说的热的单位就是焦耳。

我们所做的是物理学界普遍接受的方法：我们试图通过展示某个物理量测量的是我们在日常生活中所知道的某种性质来形象地给出这个物理量的概念。

下面我们来看看两本著名的大学教材是如何引入力的概念的：

“跟长度和时间一样，力的概念也具有直接的直觉意义，这并不需要其他任何解释。我们的肌肉施加力，这个力被施加力的人通过肌肉感觉到。”

“我们认为，对于力，我们能通过肌肉直接感觉到；这至少是对力的定性概念。”

物理量力和我们的肌肉感觉之间的关系显然是含糊的。

KPK 的这一论点几乎专门基于 $\Delta S = \Delta Q/T$ 这一公式。这个公式仅局限于在温度为 T 时的可逆热传递（热提供或热输出）过程。

评论：在 KPK 中并没有这个公式。也许是作者没有区分以下两个公式：

$$\Delta S = \Delta Q/T$$

和

$$P = T \cdot I_S$$

（式中， $P =$ 功率， $I_S =$ 熵流）

KPK 把这个公式也应用到了不可逆过程，尽管在不可逆过程中 $\Delta S \geq \Delta Q/T$ 。

评论：KPK 并没有这么做。

这样，它阻碍了学生掌握不可逆过程的知识，而这些知识对于理解我们这个世界是相当重要的。

评论：不可逆过程是 KPK 热力学的中心议题之一。在 KPK 初中版热力学部分第一章第五节就开始广泛地向学生介绍这些过程。

有很多重要的过程不能应用上面所提到的公式，这是因为不提供热熵也会变化。

评论：我们并没有应用这个公式。我们详细地讨论了在没有热提供的情况下熵是如何变化的。参见 KPK 德文初中版第一册 10.5 和 11.3 节，以及高中版热力学分册 1.5、1.11、2.7 和 7.4 节（译者注：中文版的章节编号相同）。

第 8 页：

……以致于在温度各处相等时系统的熵比开始时要多。

这并不是可以忽视的效应。这一熵的增加是这个实验的本质所在。它是产生这一过程真正的驱动力：熵增加决定了热从高温容器传向低温容器，而决不会朝相反方向传递。这个关键性的内容却真的被 KPK 隐藏了起来。

评论：我同意作者这里所提到的理论。然而，问题是如何在课堂中向学生介绍这些内容。KPK 在第 133 页（译者注：这里指 KPK 德文初中版第一册 11.3

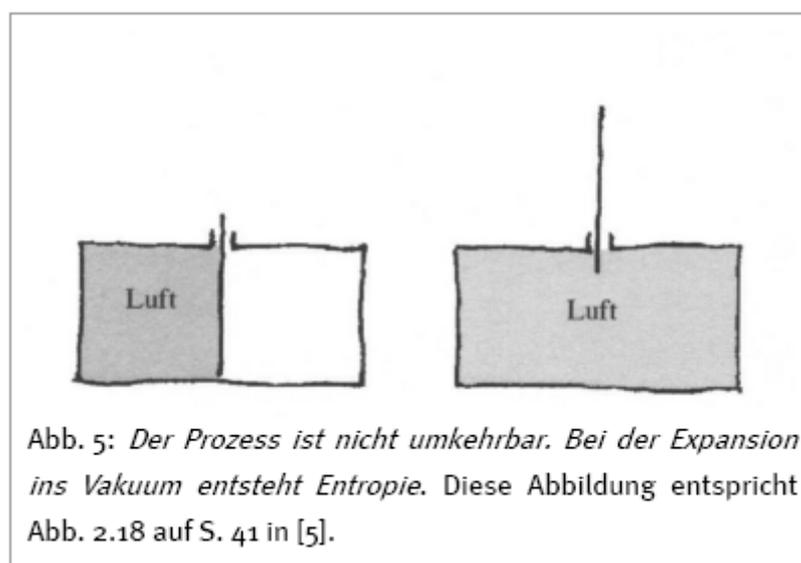
节 熵流中的熵产生。中文版的这一节内容也是从第 133 页开始的) 对热传导过程中的熵产生作了处理。作者不应该责备 KPK 没有对这些内容作出相应的处理。然而, 在大多数中学物理教科书中, 对这一内容是根本不讨论的。

第 9 页:

KPK 在对熵的定义上犯了个错误。KPK 认为, 只有在向系统提供热时系统的熵才会增加, 相应地系统的温度会升高。

评论: KPK 并没有这么说。这简直是胡说八道。KPK 倒是这样说的: 系统的熵既可以通过熵提供来增加, 也可以通过熵产生来增加。在这里所讨论的情况中有熵的产生。KPK 对此作了清楚的说明。

(译者注: “在这里所讨论的情况”是指 KPK 德文高中版第二分册第 2.7 节图 2.18 (即报告中的图 5) 的情况。



KPK 对这一情况作了定性的分析:

图 2.18 显示了这样的过程: 一容器被隔板分成两部分。左室中充满空气, 右室被抽成真空。一旦抽去隔板, 左室中的空气立刻向右室扩散, 最后充满整个容器。毫无疑问, 这个扩散过程是不可逆的, 因为空气不可能再全部自发地回到左室。

.....

图 2.18 所示的空气向真空中膨胀时必定产生了熵。这部分产生的熵必定储藏在空气中。

气体在向真空膨胀的过程中会产生熵。

这里自然要问：气体在向真空膨胀时，温度是升高还是降低？气体膨胀的情况有两种可能：

1. 如果对气体输入熵，则气体膨胀时温度上升；
2. 如果保持气体的熵不变，则气体膨胀时温度下降。

在以上两种可能的情况下，相应的两种结果都有可能出现。实际上到底出现什么情况，只能通过计算或实验来确定。

我们略去繁琐的计算和实验操作过程，直接给出以下结论：

气体向真空膨胀时，其温度不变。

这个结论表明，上述两种可能的结果在膨胀过程中正好抵消。其实，这个结论是从理想气体状态方程中推导出来的。……)

(译者注：以上结论的定量证明可参看：李椿，章立源，钱尚武. 热学[M]. 北京：人民教育出版社，1978：236-237)

KPK 指的是前面的观察结论，即当气体膨胀时其温度降低。这是绝热膨胀过程。在这个过程中气体对外做功。KPK 坚持认为，在这个过程中熵保持不变。但它用它（这对我们不可理解）来解释气体向真空的膨胀过程。在这个过程中，正象 KPK 最后也是这样认为的，熵是增加的！

不考虑前面所讨论的结论，我们立即可以看出，气体的温度没有变化，这是因为气体在向真空膨胀的过程中没有对外做功。

评论：KPK 使用这一过程是热力学通常的做法。为了理解当系统从状态 A 变到状态 B 时一给定的物理量是如何变化的，我们必须选择不同于系统实际所进行的路径。这样，如果我们能找到一些量的平衡关系，问题就变得容易了。在 KPK 中，对于从体积小的状态过渡到体积大的状态的过程采取了非自由膨胀的路径：先是等熵膨胀，因而温度降低。为了到达最后的状态 B，外界必须向系统提供熵。根据这一过程，很容易理解 B 状态时的熵确实多于 A 状态时的熵。同时，我们还从中知道：在温度不变的情况下，气体体积越大，其熵越多。如果作者想把这个结论放在一开始来介绍，他可以这样做，我们并不反对，因为这是一个教学方法的问题。但我们却采用了另一种方法。关于我们的方法，参看 G. Falk 和 W. Ruppel 的文献（译者注：此文献指 G. Falk, and W. Ruppel. Energie und Entropie, Springer-Verlag Berlin, 1976, Chapter VI, p248-249.）

第 10 页：

KPK 没有提及物理事实就给出了表 1.3 (德文 KPK 高中版第二分册第 14 页)。此表给出了一些物质的熵导率 (entropy conductivity)。KPK 简单地将热导率 (heat conductivity) 与任意选择的平均温度相除就得到了熵导率。

评论：不，KPK 并没有这样做。如果你真要想确切地知道这些值，你必须将在给定温度下的能量性质的热导率除以这一温度值。热导率和熵导率都与温度有关。

(译者注：在 KPK 中文版中，把 entropy conductivity 译为导熵率。)

它将两个不同的物理量等同起来，因而产生了一个根本性的错误。在教学中一开始就将热和熵不正确地等同起来，将立即导致根本性的矛盾。

评论：我们再说一边，我们并没有将两个不同的量等同起来，我们并没有将物理学中的熵和热等同起来。

磁荷

第 11 页：

这并不是一个奇异的情况。在前面我们已经说过，寻找磁单极的实验已经失败了。直到现在还没有关于磁荷的实验证明。

评论：作者没有将物理系统“带有磁荷的粒子”和物理量“磁荷”区分开来。没有一个带有净磁荷的物体或粒子。但是，为了表示这个事实，我们需要磁荷这个物理量。我并没有保护这个物理量的任务，因为在前面所列的文献中已经有了这个量。它的名称是磁量 (quantity of magnetism)、磁极强度 (pole strength) 或磁荷 (magnetic charge)。那些坚持认为这种磁荷是由于磁极化引起的人会把它叫做极化磁荷 (magnetic polarization charge) 或束缚磁荷 (bounded charge)。我这里再引用一下麦克斯韦的一段话，因为他说得特别清楚：“磁体的一个极的磁量一定等于另一个极的磁量，但符号相反。更一般地说，每一个磁体的总磁量 (代数和) 为零。”。

这对于学生来说可能会相信。但他们随后会问：如何将这些磁荷在空间上分

离开来，以至于我们可以认为这才是真正的磁荷，而不仅仅是是磁体的性质。

评论：这对于一个物理量来说是一个不寻常的要求。“真正的磁荷”指的是什么？为什么磁荷不能用来描述磁体？电荷也是用来描述某种东西（如电子）的性质的。

“问题并不是磁荷是否存在，而是它的引入是否有利还是有弊”[引自 KPK 教师用书](译者注：这里指德文高中版教师用书第 11 页)。在严肃的科学家眼里，这句话完全否定了 KPK 的那套方法。

评论：关于为什么要引入物理量的问题，我想引用几位学者的话。他们在这方面的观点比我还要强烈。

1. 爱因斯坦和海森伯的谈话。这是海森伯本人的回忆。摘自：*Der Teil und das Ganze*, Piper & Co Verlag München 1969 S. 91-92:

爱因斯坦：难道你真的相信只有可观察量才能进入物理理论吗？

海森伯：你处理相对论不正是这样的吗？你毕竟还曾强调过这样的事实，即绝对时间是不允许说的，这仅仅是因为它是不能被观察的；而只有在运动的或静止的参考系中的时钟读数才可以用来确定时间。

爱因斯坦：也许我曾用过这种哲学思想。但是这仍然是毫无意义的。一个人把实际观察到的东西记在心中，这也许有启发性的价值。我这样也许说得比较慎重了一点。但原则上说，试图单靠可观察量来建立理论，那是完全错误的。.....

(译者注：这是爱因斯坦于 1926 年春在德国柏林同 W. 海森伯的一次谈话。在对这部分内容的翻译中，我参考了许良英等先生的相关翻译。参见：爱因斯坦. 爱因斯坦文集 第一卷[M]. 许良英等编译. 北京：商务印书馆，2010：314.)

2. Einstein, A.: *Foundatioins of the theory of relativity*, Akademie Verlag Berlin, 1970, p. 6:

“哲学家们把自然科学的某些概念基础从经验和实践领域（这是可以进行逻辑控制的领域）转到先验领域，并到达了无懈可击的高度。根据我的信念，这是哲学家们导致毁灭的功绩。尽管可以确定，概念不可能从经验（或其他方面）中逻辑地推导出来，但在某种意义上来说是人类精神的自由创造，它们也不独立于某种经验，正象人的体形和外衣一样。”

3. Falk, G., Ruppel, W.: *Mechanik, Relativität, Gravitation*, Springer-Verlag Berlin 1973, p. 2:

“最后，认为物理学的客观性是由于它的概念不依赖于人类的想象或与人类没有任何关系，那是一个错误。实际上，物理量是人类精神的发明。借助于简单的法则，我们可以用物理量来掌握周围纷繁复杂变化的现象。”

以太/真空

第 12 页：

事实上，我们可以把量子场论中的真空看作为现代的以太。然而，它与经典以太的决定性区别是，量子场论中的真空是洛伦兹不变的，它满足相对论，因而并不表征一种特殊的参考系。”

评论：我无法据此来推断，把 QED（Quantum Electrodynamics，量子电动力学）中的真空看作是电磁场的载体是不合适的。

（陈敏华 2013 年 7 月 24 日译毕于绍兴柯桥）