

温度概念及其发展

薛国良 著

河北教育出版社

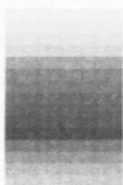
ISBN 7-5434-6228-1



9 787543 462281 >

ISBN 7-5434-6228-1

定价 9.80 元



温度概念及其发展

薛国良 著

河北教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

温度概念及其发展/薛国良著. —石家庄: 河北教育出版社, 2006. 10

ISBN 7-5434-6228-1

I. 温… II. 薛… III. 温度-研究 IV. 0551.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118760 号

书 名 温度概念及其发展

责任编辑 杨 才

装帧设计 赫 江

出 版 河北教育出版社

(石家庄联盟路 705 号 邮编 050061)

<http://www.hbep.com>

发 行 河北麦田图书有限责任公司

印 刷 河北新华印刷一厂

开 本 850 × 1168 1/32

印 张 6.125

字 数 136 千字

版 次 2006 年 11 月第 1 版

印 次 2006 年 11 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5434-6228-1

定 价 9.80 元

版权所有 翻印必究

法律顾问 陈志伟

如有印刷质量问题, 请与本社出版部联系调换。

联系电话: (0311) 87781224 88643565

前 言

温度，是一个大众十分熟悉的字眼。无论是学理的、学工的还是学文的、搞艺术的，抑或是没怎么上过学的人，似乎对于“温度”一词已经熟视无睹，有必要煞有介事地写一本书来论述吗？绝对有必要！理由有二：

其一，这里要谈的温度概念是一个严格的科学概念，尽管我们日常生活中的很多词汇是来源于科学的所谓“边缘词汇”，但这些概念在生活中往往被异化或者被庸俗化了（如能量、信息等词汇的滥用即为明证），在大讲素质教育的今天，有必要重申温度概念的科学性以提高非专业人士的科学素养。从此意义上讲，本书是一种以温度概念为主线对科学精神展开讨论的文化操作。

其二，即使是学理科出身甚至是学物理的“业内人士”，对温度概念以及它的发展现状往往也缺少清晰的了解，其结果一定会直接、间接地影响他们的“工作”，对于从事物理教育的教师更是如此。从此意义上讲，本书是一本以温度概念为主线对科学概念和科学方法展开讨论的教学参考书。

从科学的意义上讲，温度，是物理学中最古老、最重要而又最引人入胜的概念之一。甚至可以说，能与温度相媲美

的物理学概念只有能量和熵。所以，象能量和熵一样，温度也是一个受过高等教育的人的精神财富的一部分。

纵观物理学的发展，温度概念之所以引人入胜，是因为与其它物理量相比，温度具有三个特殊之处：

其一，抛开人们古老的冷热观念不谈，从 1592 年伽利略发明第一台气体温度计算起，到 1927 年美国物理学家否勒提出将孕育温度概念的热平衡定律升格为热力学第零定律为止，温度概念的完善共花费了三百多年！

其二，关于温度的计量，不仅各种经验温标的提出与完善用了一个多世纪，就是现行的热力学温标，从开尔文在 1848 年提出到 1954 年正式通过也花了一百零六年！

其三，温度作为一个物理量一直到 1967 年才有了单位，才可以象其它物理量一样用（数值） $\times$ （单位）的形式来表示。而在此之前，人们测量温度的结果只是在“做标志”而已。

仅此三点，便决定了温度在所有物理量中的“绝无仅有”的地位。探索其中的奥秘，深刻而全面地论述温度概念，则是作者写作本书的初衷。

温度的概念几乎涉及物理学的各个领域，要想全面而又深刻地认识温度，必须经历一个由浅入深、由表及里的漫长过程。为此，本书分别从宏观、微观、极限、测量以及发展诸角度介绍了温度的概念。

温度的概念起源于热力学。热力学是物理学各门课程中最具特色的一门课，根据作者多年的教学体会，除非把热力学看作现今流行的“现象学”哲学的一道“大习题”，否则讲授者会不得要领，初学者当然也就无法领悟热力学的真谛了。考虑到初学者对热力学的讨论易感枯燥（这种枯燥来自

热力学的与众不同的抽象性), 作者在第一章中围绕温度的引入过程着重强调了热力学研究方法的特点。

如何从微观角度来认识温度是掌握温度概念的重要环节。一般教科书中对此问题仅有定性的讨论, 并且只限于分子运动论的范围。作者在第四章中分别从分子运动论、经典统计物理以及量子统计物理的角度全面地阐述了温度的微观意义, 并为后面讨论温度概念的发展打下基础。

随着物理学的发展, 温度的概念也在不断延拓和发展。最后两章中讨论的负温度、黑洞温度和相对论温度等就属于这种情况。对这类温度概念, 作者最初接触时也曾感到困惑不解, 但愿书中对它们的介绍不至于再造成读者的困惑。

最后应当说明, 本书是为大、中学物理教师写的一本教学参考书, 为了扩大读者对象, 作者力图用“轻松”的语言来叙述问题。虽然尽力避免造成概念叙述上的不严格, 但限于水平, 不当之处在所难免, 敬请读者不吝指教。

作 者

2006 年 1 月于竹扉斋

责任编辑：杨 才

封面设计：赫 江

目 录

前 言	(1)
-----	-------

第一章 温度概念溯源	(1)
------------	-------

1. 古老的冷热观	(1)
2. 热力学的研究方式	(5)
3. “迟到”的定律：热力学第零定律	(10)
4. 温度的引入	(12)
5. 物态方程	(15)

第二章 温标的兴替	(17)
-----------	--------

1. 权宜之计——经验温标	(17)
2. 一个突破——理想气体温标	(25)
3. 完美的归宿——热力学温标	(32)

第三章 温度的测量	(39)
-----------	--------

1. 国际实用温标	(39)
2. 高温的测量	(44)

3. 低温的测量	(51)
----------------	--------

第四章 温度的微观意义..... (55)

1. 物质的微观结构	(55)
2. 从分子运动论看温度	(61)
3. 从经典统计物理看温度	(69)
4. 量子论梗概	(78)
5. “绝对零度”的发难.....	(82)
6. 从量子统计物理看温度	(84)

第五章 低温世界..... (88)

1. 获取低温的手段	(88)
2. 永久气体和永久液体	(93)
3. 超导电性	(96)
4. 超流动性	(104)

第六章 高温世界..... (110)

1. 等离子体中的温度概念	(110)
2. 从受控热核反应看高温	(116)
3. 恒星的温度	(121)
4. 宇宙创生初期的高温	(127)

第七章 负温度..... (137)

1. 负温度概念的来历	(137)
2. 奇怪的冷热顺序	(140)
3. θ 温标的功用	(141)

4. 负温度的稳定性	(143)
5. 负温度的维持	(145)
第八章 温度概念拾遗	(153)
1. 奇妙的黑洞温度	(153)
2. 特征温度	(158)
3. 相对论的温度概念	(162)
附录 I 温度作为态函数引入的数学操作	(167)
附录 II 关于理想气体模型的思考	(170)
附录 III 关于“负温度”教学的一个注记	(177)
附录 IV 黑洞温度的奇异特性——量子温度	(183)
参考文献	(187)

第一章 温度概念溯源

在温度概念远未形成的古代，人们就早已从大自然的变化中认识了“冷暖”，所谓“日月运行，一寒一暑”（《易·系辞上》）就是这种认识的反映。河川冻结，冰雪融化，是人们熟知的与冷热有关的自然现象。《淮南子》上说：“睹瓶中之冰而知天下之寒暑”，则是我国古代判断冷暖的经验之谈。千百年里，无数的直觉经验形成了古代人们的“冷热观”，我们先来看看人类祖先是怎样认识“冷热”以及如何度量“冷热程度”的。

1. 古老的冷热观

人们对冷热本质的早期探索都是与水、火紧密地联系在一起。

我国早在商周时期产生的“五行”说，认为世界万物都是由金、木、水、火、土五种元素组成。《国语·郑语》中记载，周幽王九年（公元前 773 年），周太史伯对郑桓公说：“故先王以土与金、木、水、火杂，以成百物。”这里将水与火同其它三种物质一起看作是人类赖以生活的五种基本

材料。

同一时期，还发展起了“阴阳”学说。《周易》中已经从上下、动静、寒暑、昼夜等许多自然现象中，抽象出阴与阳两个对立的基本范畴，《淮南子·天文训》中有一段话可说明这一点：“积阳之热气久者生火，火气之精者为日；积阴之寒气久者为水，水气之精者为月。”

古希腊的哲学家对冷热也有过类似的观点。亚里士多德提出了物质的四个性质，即冷、热、干、湿，认为是具有基本意义的东西。这四个性质的结合形成四种基本元素：火（热加干）、空气（热加湿）、水（冷加湿）、土（冷加干），四个性质按照各种不同比例渗透融合，就构成一切复杂事物，并引起各种事物的转化。例如，水在加热时它的“冷”被“热”所代替则变成了蒸汽（空气）。

在冷热程度的测定方面，古人也进行了各种尝试。在我国，《吕氏春秋》中记载，古人曾“审明堂之阴而知日月之行、阴阳之变；见瓶中之冰而知天下之寒、鱼鳖之藏也”。由此可以推测，春秋战国时期，我国就出现了通过观察瓶中的水冻冰消来粗略测定气温的装置。人们在瓶中置水，由水结冰与否来推知气温下降的程度，从而间接地了解“天下之寒”。

战国时期成书的《考工记》中记载了我国古代一种独特的估测高温的技术：“凡铸金之状，金（铜）与锡，黑浊之气竭，黄、白次之；黄、白之气竭，青气次之；然后可铸也”。这就是说，战国时期人们在熔铸青铜合金时，就已通过观察火焰颜色的变化次序来判断“火候”，当白烟消竭、“炉火纯青”时，炉温已经足够高，则可以用来浇铸了。

在国外，也早就有了利用物质的热胀冷缩的规律来测定冷热程度的装置。公元前一世纪，在亚里山大里亚学者悌西比的学生赫伦的书里就记载着两种与测定冷热程度有关的装置（参见：申先甲，《探索热的本质》，北京出版社，1985）：“在一个下部密封着空气的祭坛上点火时，密闭的空气发生膨胀并向下压迫水面，将水排向桶内，桶变重而下降，则带动一个旋转装置将神殿的门开启；而当祭坛的火熄灭时，空气由于冷却而收缩，桶中的水又被吸上来，于是桶变轻而上升使门关闭。”

书中记载的另一个装置是东罗马帝国拜占庭的非伦根据相同的原理制作的：他用一根弯折的管子，一端插在铅球里，插口结合处密封，另一端浸没在水中。当铅球受热时，管内空气排入水中，冷却时水则被吸上来，从吸上来的水量则可知球受热的程度。

以上所列举的古代哲人对冷热的各种见解以及他们测定冷热程度的种种尝试，都是建立在人们的经验基础上的。虽然古代的学者也曾利用诸如水冷结冰、物质热胀冷缩等规律来测定冷热程度，但是对这些规律的了解还只处于朴素的直觉经验阶段，并没有上升为科学的高度，即仍未脱离感觉经验的范畴。多少年里，人们还是凭借自己的感觉来知冷暖，辨寒暑的。

还应当指出，除了对冷热的认识和测定冷热程度的尝试之外，古代人们对于冷热程度的划分，也是停留在经验基础上的。如在我国，人们用冰、寒、凉、温、热等一系列的形容词来表示由“冷”到“热”的序列。在人类的生产和生活实践还没有对冷热观念的科学化以及划分和测定冷热程

度的定量化提出要求以前，人们就是根据这种古老而又朴素的冷热观而生活、劳动着。

随着生产的发展和科学技术的进步，古老的冷热观发生了动摇，而首当其冲的则是人们对“凭主观感觉来测定冷热程度”的传统方式提出了疑义，因为这种方法不仅粗糙，而且易生错觉。最典型的例子是：在冬天里用手触摸放在室外的木块和铁块，它给人的感觉是“铁块比木块凉”。但是，两者的冷热程度实际上是相同的。错觉的产生是由于铁的导热性能比木块好，当手同铁块接触时，进行热交换的速度比木块快的缘故。

1690年，英国哲学家洛克专门设计了一个简单明了的实验，来证明靠触觉判定冷热程度的不可靠：将一只手浸在热水中，另一只手浸在冷水中，然后将两只手都浸在温水中，这时第一只手觉得冷一些而第二只手就觉得热一些。

上述两例都说明，人们需要一个客观的、科学的、可以用数值定量表示冷热程度的办法。而要做到这一点，首先应当对冷热程度给出一个科学的定义才行。这是因为，任何一个物理量的科学测量只能产生于对这个物理量的科学定义之后。

温度作为一个科学的概念的形成，是人类长期科学活动的结晶。简单说来，温度是前面一再提到的“冷热程度”的科学化。在这个意义上讲，读者都知道什么叫温度。但是，“冷热程度”是个直觉而形象的词汇，用“冷热程度”来定义温度的做法是断断不可取的。因为“冷”和“热”是个只可意会不可言传的文学字眼，用文学字眼来定义一个科学概念本身就是不科学的。因此，在科学的意义上说，我们还不

知道什么是温度，因为它的引入要依据热力学中的一条定律。在没有了解这条定律之先，是不可能理解温度的。

2. 热力学的研究方式

大凡做学问者，无一不讲究做学问的方式，所以在介绍这条定律以前，我们先来谈谈热力学这门学问的“研究方式”，为的是使读者能把握笔者叙述的“脉搏”，免涉避重就轻之嫌。

先说“研究”的对象。任何一门学问的研究须有对象。自然科学的研究对象大至宇宙，小至基本粒子，错综复杂又息息相关。要想有个开端，总要从中间划分出一部分来研究，热力学中将所划分出来的部分称为“系统”，而没有包括进来的则称为“外界”。如此罗嗦并不是作者在“咬文嚼字”，因为在讨论科学的概念之前必须在语言上先“严肃”起来，也就是要先将科学概念与日常生活词汇区别开来。

研究所划分的范围依学科不同而异。值得提到的是，热力学研究所划分的范围与其它学科大相径庭，它的研究对象（称为热力学系统）是这样定义的：

以任何方式与外界相互作用的任何物质。

这样定义的研究对象口气很大，用通俗的话来讲就是：热力学的研究对象无所不包，想研究什么就可以研究什么。因为定义中所说的“任何物质”既可以是通常的气体、液体和固体，又可以是除了电磁场以外什么都没有的空间。定义中又提到，与外界的相互作用可以是“任何方式”，这就是说与外界的相互作用既可以是机械的、热的，又可以是电磁

的等等。试问除了热力学之外物理学的哪一门学科有如此之气魄？正因为这一点，才使得热力学理论具有别的学科无法比拟的普遍性。

热力学之所以“出手不凡”，带有一种与生俱来的“王者气”，是因为它的特殊的研究方式决定的。

首先应该指出，热力学研究虽然“无所不包”，但它所对应的系统必须是“宏观系统”。为便于读者了解什么叫宏观系统，我们先来谈谈“宏观”。从人类对自然界认识的深度和广度看，现代物理学涉及的空间尺度，正在向广阔和细微两个方向发展。一方面，从地球延伸到太阳系、银河系、星系团、总星系，也就是向着宇观世界发展；另一方面，从分子、原子深入到原子核、基本粒子，也就是向着微观世界发展；而介于这两者之间的，也就是我们一般人现实生活中所处的世界，叫做宏观世界。

这样看来，所谓宏观系统，就是我们日常生活中“看得见、摸得着”的物体（因为宇观世界“摸不着”而微观世界“看不见”），如气体、液体、固体等等。更精确地说，这些物体的尺度须是宏观尺度。“宏观尺度”的典型尺寸是人们在量度身边物体时常用的“米”、“千克”等单位，这一点自不待言。但我们还必须强调一下，如果涉及宏观系统的微观层次（人们熟知物质是由分子、原子等微观粒子组成），“宏观尺度”的标准是系统须含有大量的微观粒子：这里的“大量”一般为 10^{23} 的量级，此数据来源于所谓的“阿伏伽德罗数”，即一摩尔物质的宏观系统在标准状况下所含有的微观粒子的数高达 6.023×10^{23} 个。

作为研究对象的“系统”确定之后，接下来便是“研