

科学图书馆

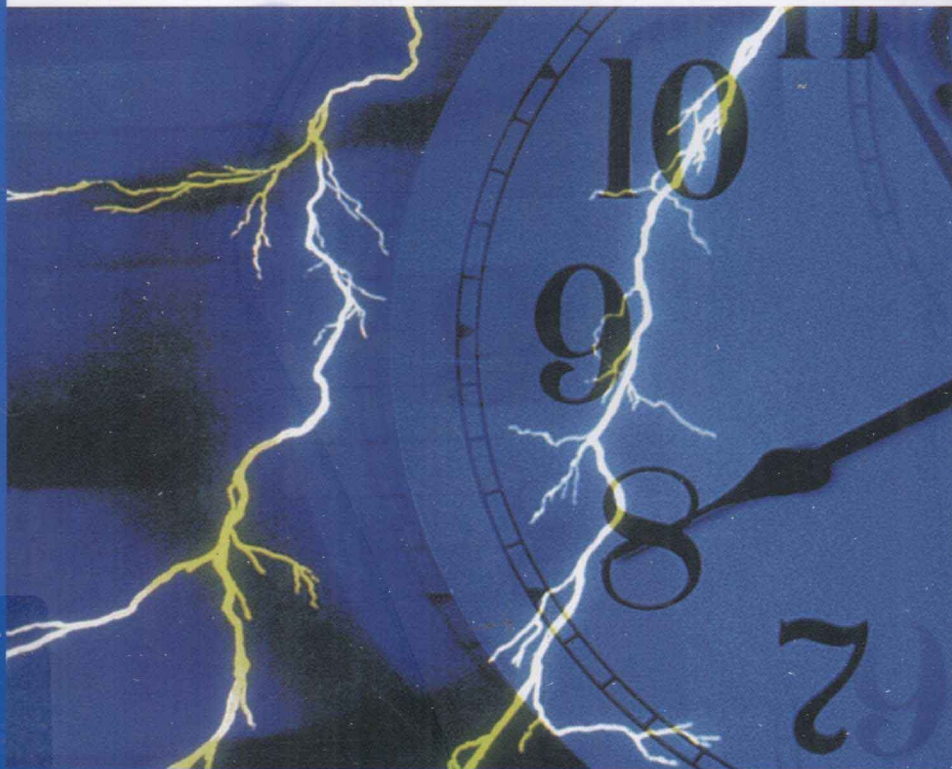
我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD

时间与热动力学

TIME AND THERMODYNAMICS

[美] 凯尔·柯克兰德 著 元旭津 译



上海科学技术文献出版社

科学图书馆

我们世界中的物理

PHYSICS IN OUR WORLD

时间与热动力学

TIME AND THERMODYNAMICS

[美] 凯尔·柯克兰德 著 元旭津 译

常州大学图书馆
藏书章



上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

时间与热力学 / (美)凯尔·柯克兰德著;元旭津译.
—上海:上海科学技术文献出版社,2011.1
(科学图书馆·我们世界中的物理)
ISBN 978-7-5439-4595-1

I. ①时… II. ①凯…②元… III. ①时间—普及读
物②热力学—普及读物 IV. ①P19-49②O414.1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 235351 号

Physics in Our World; Time And Thermodynamics

Copyright © 2007 by Kyle Kirkland

Copyright in the Chinese language translation (Simplified character rights only) ©
2008 Shanghai Scientific & Technological Literature Publishing House

All Rights Reserved
版权所有,翻印必究

图字:09-2008-207

责任编辑:谭 燕
封面设计:徐 利

时间与热力学

[美]凯尔·柯克兰德博士 著

元旭津 译

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市长乐路 746 号 邮政编码 200040)

全国新华书店经销

江苏昆山市亭林彩印厂印刷

*

开本 740×970 1/16 印张 7.25 字数 129 000

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5439-4595-1

定价:18.00 元

<http://www.sstlp.com>

内 容 简 介

冬天,凛冽的寒风吹过北方大地,而南方的许多城镇,则沐浴在温暖的阳光中。冷和热存在于我们生活的每一个角落。这本书平实而生动地描述了热力学的几个定律和它们的广泛影响。看似高深的热力学定律,其实都来源于人们的日常生活;只要稍微留心,便会发现,到处都是物理概念和定律在起作用。比如发烧时人的体温,炎炎夏日里的空调和人们常吃的烤羊肉串等等,不胜枚举。

同时热力学定律与高科技、时下的热点问题都是紧密相连的。例如书中讲述的喷气式战斗机中的引擎,用于夜间侦察的红外探测器等;还有人们普遍关注的全球变暖、臭氧层缺失等问题,都和热力学有着千丝万缕的联系。

时间对人类是一个永恒的话题,正如书名所提到的,时间在热力学中是一个关键的量,它与“熵”的概念紧密相关。热力学指出,一个物体的熵随时间的变化是有规律的。人们曾有过很多时光旅行的幻想,这本书从热力学角度科学地预测了它的可能性。当然书中的结论是基于科学基础上的预测,至于未来究竟怎样,要靠人类自己亲身去体验,去判断了。

这本书从最简单的温度说起,娓娓而谈,描述了热能、体温、热泵、热机等热力学的基本概念,以及它们对我们这个世界的影响;并且讲述了热力学对时间流逝的限制,以及人们穿越时空的可能性。

前言

1945年，两枚核弹终结了第二次世界大战，这是对物理学威力的一次展示，让人惶恐而又令人信服。由世界上最杰出的一些科学头脑酝酿出的这次核爆炸摧毁了广岛和长崎这两座日本城市，迫使日本不得不无条件投降。应该说，物理学和物理学家的身影贯穿于第二次世界大战的始终，而原子弹只是最生动的一个例子。从那些用于炸坝的在水中跳跃前进的炸弹，到那些感应到船体出现便发生爆炸的水下鱼雷，第二次世界大战实际上也是一场科学的较量。

第二次世界大战让所有人，包括那些多疑的军事领导人相信，物理学是一门很重要的科学。然而，物理学的影响远远延伸到了战场之外，物理学原理几乎关系到世界的每个部分，触碰了人们生活的方方面面。飓风、闪电、汽车引擎、眼镜、摩天大厦、足球，甚至包括我们怎么走、怎么跑，所有这一切都要服从科学规律的安排。

在诸如核武器这样的话题或者有关宇宙起源的最新理论面前，物理学和我们日常生活的关系往往显得黯然失色。“我们世界中的物理”这套丛书的目标就是去探究物理学应用的各个方面，描述物理学如何影响科技、影响社会，如何帮助人们理解宇宙及其各个相互联系的组成部分的性质和行为。丛书覆盖了物理学的主要分支，包括如下主题：

- ◆ 力学与动力学
- ◆ 电学与磁学
- ◆ 时间与热动力学
- ◆ 光与光学
- ◆ 原子与材料
- ◆ 粒子与宇宙

“我们世界中的物理”丛书的每一册均阐释了有关某个主题的基本概念，然后讨论了这些概念的多种应用。虽然物理学是数学类学科，但这套丛书主要聚焦于思想的表达，而数学知识并不是重点，书中只涉及一些简单的等式。读者并不需要具备专门的数学知识，当然，对于初等代数的理解在有些时候还是很有帮助的。实际上，每一册可

以讨论的话题的数量几乎是无限的,但我们只能选取其中的一部分。令人遗憾的是,不少有趣的东西就这样不得被省略掉。然而,丛书的每一册都涉猎了非常广泛的材料。

我曾经参加过一个讨论会,会上一位年轻学生问教授们,是否需要备有最新版本的物理教科书。有一位教授回答说,不,因为物理学的原理“多年来一直没有改变”。这个说法大体上是对的,但这只是对物理学的效力的一个证明。物理学的另一个支撑来源于建立在这些原理之上的令人吃惊的诸多应用,这些应用仍在不断扩展和变化,其速度之快非同寻常。蒸汽机已经让位给了用在跑车和战斗机上的强大内燃机,而电话线也正在被光导纤维、卫星通讯和手机等取代。这套丛书的目标就是鼓励读者去发现物理学在各个方面、各个领域所起的作用,现在的、过去的以及不远的将来的……

❁ 鸣 谢 ❁

感谢我的老师,是他们尽了自己最大的努力理解包容我。感谢乔治·格斯坦(George Gerstein)、拉里·帕姆(Larry Palmer)和斯坦利·斯密特(Stanley Schmidt)博士,是他们在迷失方向的时候帮助我找到自己的路。我很感激乔迪·罗治(Jodie Rhodes)先生,是他帮助我发起了这个工程,感谢执行编辑弗兰克·达姆斯达(Frank K. Darmstadt)以及其他推动这项工程的编辑和制作人员,感谢许多为本书提供宝贵时间和见解的科学家、教育工作者和作家们。我尤其要感谢伊丽莎白·柯克兰德(Elizabeth Kirkland),她是一位有着非凡力量并能明智地运用这种力量的伟大母亲。

简介

古希腊神话中讲述了普罗米修斯教给人类如何使用火的故事,教授人类使用火的技能,无疑使人类向前迈进一大步。其他众神对此十分愤怒,尤其是普罗米修斯居然允许人类拥有如此的能力。

虽然普罗米修斯的故事是一个神话,事实上控制火和热的能力确实为人类提供了一些早期的技能。蒸汽为工业革命的主要阶段提供了动力,从 18 世纪末期开始,机械使制造业以及运输业的效率实现了突飞猛进的增长。但是热温度以及它们之间的关系比起只由蒸汽驱动机器来说,是一个广阔得多的研究领域。温暖与生命活动息息相关,而寒冷则与死亡和沉寂紧密相连。一些生物依靠环境提供热量,而另一些生物则以自身产生热量,但是全部生命体都必须适应这样一个世界,并与之相互作用:在这个世界中温度并不是一个常数。

《时间与热力学》探究了热和温度的物理本质,以及它们对人们的生活以及技术产生的影响。热指的是热量,而动力学则象征着物质运动,这两个元素对这门学科都是至关重要的。简单地说,热量就是从高温物体流向低温物体的能量。19 世纪的科学家和工程师们,例如萨迪·卡诺(Sadi Carnot),主要是出于了解和改进蒸气机的目的,发现了热力学(常简称为热力学)的基本原理。令他们大为惊讶的是,他们发现热力学原理给机器能够达到的水平作了严格的限制。但与此同时,这门学科为生物栖息地、生物学、技术、机械等研究领域提供了广阔的知识空间,甚至与时间这个话题也有着令人惊异的联系。

《时间与热力学》描述了与每一个话题相关的热力学基本原理,以及这些原理的应用如何使得人们能够更好地了解世界,并且在适当的时候改进它。

合适的温度对所有动物的健康生长来说是必不可少的,而地球上各个地区的温度存在着相当大的差异。在人类历史的早期,人们只能居住在赤道附近的热带。虽然现代人拥有了在寒冷的环境中保持住宅和办公室温暖的能力,人类文明的进化和发展还是产生了意想不到的影响:城市与它的周边地区相比,开始变得更加温暖;而且在全球范围内,气温正在缓慢增高。热力学为研究这些影响提供了一个重要的工具。

维持合适的温度对生物也非常关键,而且这个需要对人类和动物身体中的大分子和器官的形成与活动有着非常大的影响。爬行动物通过晒太阳来取暖,而人类可以依靠自己的力量产生很多热能。这两种取暖的方式存在非常大的差异,但它们都遵循着热力学关于热的产生与传导的原理。

热量天然的从热物体流向冷物体,但是人们却经常需要热量流向相反的方向。在夏天工作的空调,从一个较冷的房间中抽取热量,并将其排放至较热的外部环境中。这个过程需要能量,而这正是热力学定律的核心内容令人震惊的地方。这些能量经常从电力中获得。

同时,热力学定律也为机械利用热能驱动车辆和举起重物的能力增加了严格的限制。了解这些限制能够使工程师避免尝试设计不可能实现的机械,但是却无法阻止他们建造出令人印象深刻的赛车,它们能够在赛道上以 320 千米/小时的速度呼啸驰骋;以及能够以超过两倍或三倍音速的速度飞行的喷气式战斗机;还有一种名为冲压式喷气发动机的新式引擎,能够将飞机加速至 11 200 千米/小时。

最后一章探索了时间这个概念。虽然一眼看去,时间与热力学并没有什么紧密的联系,但是它们之间的关系却是深奥的。物理学中包含很多对称性——物理定律在各种环境下常常是相同的。这其中包括时间;物理公式无论对时间增加(向前发展进入未来)或是减少(向后发展进入过去)来说,经常是不变的。大部分物理图像对任何一种情况来说,都是没有偏差的,因为大多数物理定律在两个方向上都起着一样的作用。然而正如人们所经历的,时间只在一个方向上流动,从过去到现在,然后到未来。热力学为此提供了一个精巧的解释,因为它的定律与其他物理学理论不同,打破了时间上的对称性。因此,热力学为研究一些诱人的课题提供了线索,例如研究时间的本质和时光旅行的可能性,以及在宇宙诞生时的时间演化的最初形态等等。

目 录

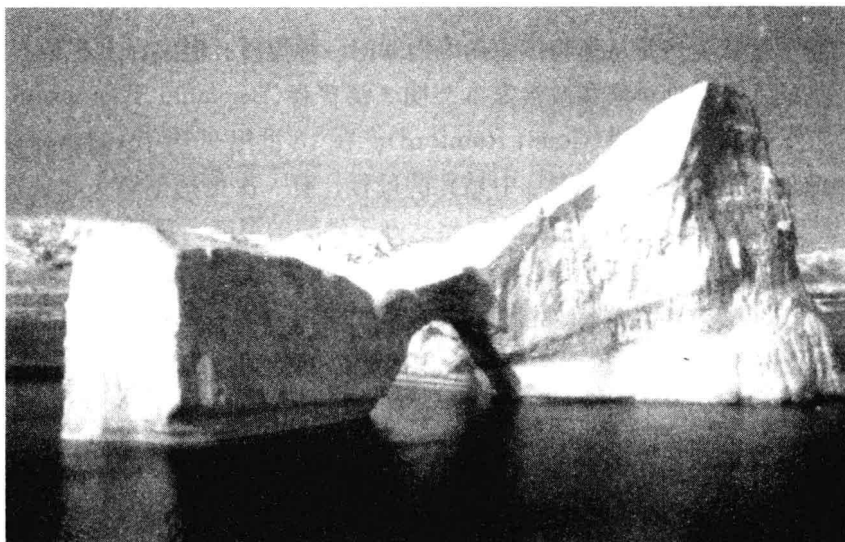
前言	1
鸣谢	1
简介	1
1 热与环境	1
温度与热	2
温度与分子动能	4
能量流	6
制冷与加热	11
潜热与热容量	12
一年四季	15
城市热岛	18
全球变暖	20
2 热与人体温度	24
体温	24
人体如何感知冷热	27
热的导体与绝缘体	28
温血动物与冷血动物	29
舒适区:保持合适的温度	32
温度记录法	35
极端温度与生活	36
3 热与技术	41
利用技术控制温度	41

热力学第一定律	43
冰箱与空调	45
热力学第二定律	46
可逆热泵	48
绝对零度	49
4 热机	53
蒸汽动力	53
卡诺热机	58
汽车发动机	62
赛车用发动机	66
喷气式发动机和燃气轮机	70
未来的热机	73
5 时间	77
钟表	77
钟摆与周期性	80
时间与物理定律	84
熵和无序度	87
修订后的热力学第二定律	89
在时间中旅行	90
宇宙的起源与结局	93
结语	95
国际单位制及其转换	97
译者感言	100

1

热与环境

漂浮在大洋中的体积巨大的冰山是非常寒冷的,然而它依然含有很多热能。热力学中的热这个词来源于一个希腊语的表示热的词汇。冰山并不发烫,但是它仍然包含很多热能。



这个奇形怪状的冰山漂浮在南极洲附近的格拉赫海峡(Gerlache Strait)。
(美国国家海洋和大气局海军少将哈利·D. 奈格雷恩摄于1962年。)

热力学研究热能,以及它与其他形式的能量的关系。热这个词在日常生活中一般并不表示热量——人们使用热和冷这两个词来描述物体触摸上去的感觉,而且对物体加热就意味着升高它的温度。夏日下的人行道是热的,而冰块是冷的。大多数人都倾

向于考虑温度而不是热能。

但是热力学的物理内涵从根本上来说,是与能量相关的。物理学家将能量解释为做功的能力——也就是施加力来移动某个物体,例如推动一辆手推车或是抛出一个足球。能量与运动是紧密相关的,或者至少移动物体的能力和热力学能量——热,两者无一例外。热能量无处不在,甚至是在冰山内部也有能量,而且它的性质,特别是在物体之间传导的方式,能够影响到人们居住的热带、北极或是气候温和的沿海地区。热力学的基本原理在以下过程中起到了关键作用,这包括一年四季的更替,城市和农村地区的气候差异,以及气温在全球范围内的升高。

温度与热

在物理学中,温度与热两个概念之间有很大差别。尽管看上去并不明显,温度指的是物体中的原子和分子的能量。由于两个物体温度不同引起地在它们之间流动的能量,则称之为热量。

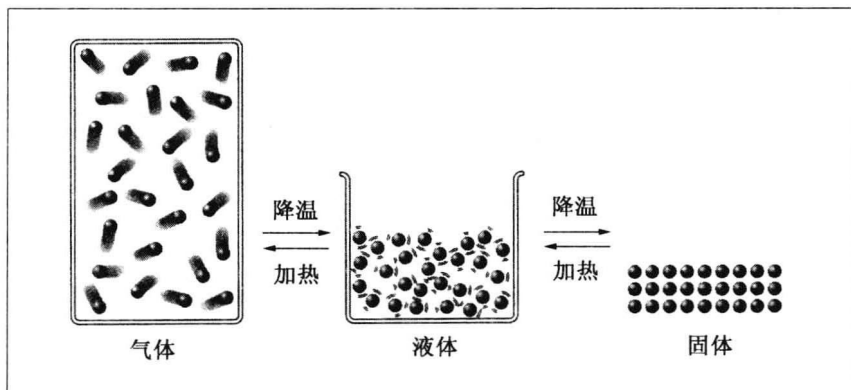
人们曾一度认为热是从热物体流向冷物体的一种流质。但实际上这是不正确的,发现这一点的人是物理学家和政治家本杰明·汤普森(Benjamin Thompson, 1752—1814),也就是拉姆福德伯爵(Count Rumford)。在18世纪90年代,拉姆福德伯爵研究了在制造加农炮时在实心黄铜柱中钻孔的过程。有一次他把钢钻头和黄铜柱浸没在水中,然后随着钻孔过程的进行,水居然达到了沸腾的温度。只要钻孔继续进行,水就一直保持在沸腾的状态,如果热真的是一种流质的话,这确实是一种奇怪的事情——黄铜迟早要消耗完它内部的流质,但是实际上它不会消耗完。另一个重要的观测事实是,炮筒加上钻孔过程中切削下来的铜屑的重量之和与作为原料的铜柱相比,没有任何变化;如果金属流失了很多热流质的话,它的重量应当会减小。

拉姆福德意识到水温升高不是因为热流质的缘故,而是由于钻头的运动引起的。热并不是一种流质;热是从一个物体流向另一个物体的能量。虽然拉姆福德不能抓住所有细节,他还是能够察觉到,钻头撞击铜柱产生的摩擦才是导致温度升高的真正原因。

热量总是与运动紧密相连的,正如包括两个物体相互摩擦的过程所表明的那样。摩擦产生更高的温度,例如在寒冷的天气里人们用两只手相互摩擦以取暖。

热和温度在一个更加本质的水平上与运动相关。所有物体是由原子和分子构成的——它们小到人眼甚至是显微镜都看不到的程度。原子和分子从来不会静止——

它们一直处于运动的状态。对于气体这种状态尤其明显,正如下图所示的,但是对液体和固体亦是如此。物体的温度是平均分子动能的度量,这个动能指的是构成它的原子和分子的运动,恰如框图内所讨论的。



原子和分子一直处于运动的状态。在气体中,它们自由地运动,而在液体中,它们与临近原子拥挤在一起。在大多数固体中粒子处于确定的位置,但是在各自的位置上做微小的振动。

物体中的原子和分子所拥有的能量有时被称作这个物体的内能或热能。所有物体均含有这种能量,甚至是人们认为冷的物体也是如此。例如漂浮在北冰洋上的冰山确实很寒冷,但同时它是巨大的,所以虽然它内部的原子和分子的运动并不剧烈,但是由于粒子数太多,以至于冰山依然含有相当大的能量。如果这个能量被抽取出来,可以满足一所房子数星期的供暖需要。但是问题是,热力学定律在从冷物体中抽取能量时,就不那么慷慨了。这一点在后面将要讲述到。

虽然温度决定于物体内能大小,大多数人在测量物体的温度,并不通过某种复杂而精巧的分析粒子运动的手段,而是使用温度计。

老式的温度计,被称为模拟测温计,应用了水银或者酒精的特性。水银一类的物质在变热时,组成它的原子和分子的运动就开始变多起来,因此,物质就会膨胀——它会变得稍许大一些。这就是热膨胀。水银的原子一直在轻轻地抖动,但是热使得它们的能量增加,因此抖动得更多。随着液体体积变大,水银液面会在管子中升高。随着水银变冷,相反它的体积会变小。因此管子中水银体积的大小可以作为它的温度的指示。

电子温度计可以将温度以数字的形式显示在屏幕上,通常通过其他的方式测温。

知识窗

温度与分子动能

人们对于温度在冷热上的感觉是从实用角度出发的,但是温度恰巧也是物体中粒子运动剧烈程度的度量。在气体中,粒子可以自由的漫游,而且这种运动很容易观察到。虽然原子和分子通常是看不到的,但仍有一些方法可以探测它们的运动。一种方法是使粒子通过一系列小孔逃离气体容器。逃离的粒子必须通过一系列转动的轮盘,这些轮盘只在某些位置打开小孔以供粒子穿过。只有具有某些特定速度的粒子才能穿越所有的轮盘,其余的粒子都将被阻挡掉。这个过程类似于一辆轿车穿越一连串的红绿灯——某一辆速度合适的轿车会在所有灯是绿色时恰巧穿过它们,而其余轿车将会被行程中的某一个红灯所暂时阻止。在一定的温度下,通过重复几次实验,实验者就能测量粒子运动速度范围。

物质中粒子运动得越快,它的温度就越高。虽然冷气体中会有少量粒子以极快的速度运动,但是决定温度的是分子平均的运动速度。在平均的水平上来看,冷气体中的粒子的运动比热气体中的粒子要慢得多。

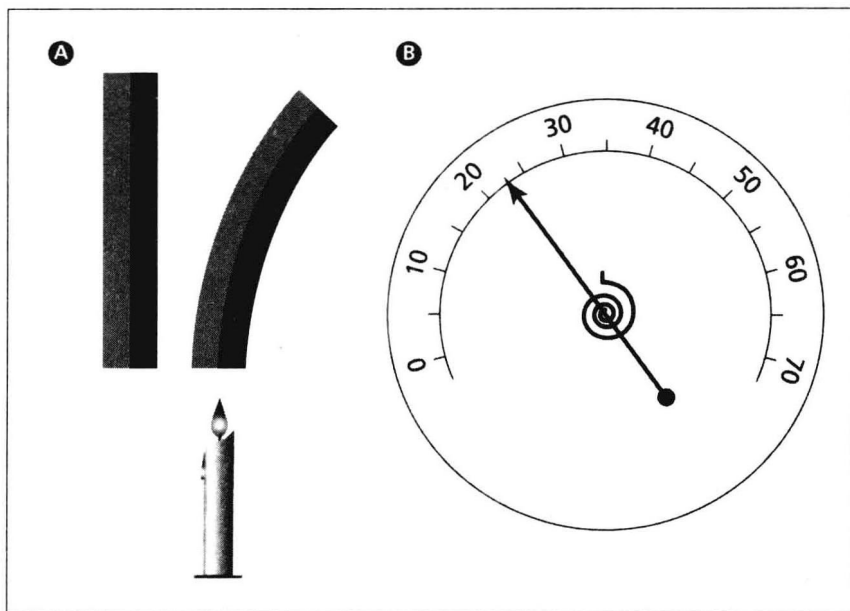
液体或固体中的粒子会有内在的运动,然而这种运动要复杂的多。液体中的原子和分子聚集在一起,但是它们之间可以自由的互相滑动。在晶体这样的固体中,原子和分子形成整齐的几何结构,但粒子仍然不是静止的——它们围绕着一个中心位置前后振动,有点像一个摇摆的钟摆。

某些金属随着体积变化,它的一些特性会改变,例如电阻。电子温度计通过测量这些特性的微小变化,来探测金属小片的热膨胀。还有一些温度计利用不同金属在热膨胀时弯曲的程度不同来测温,正如图中所示的。

另一种测量温度的方法适用于物体热到发光发亮的程度时,例如烤箱中炽热的电炉丝或是置于火中的金属烧火棍。发光物的颜色是与它的温度相关联的:随着温度的升高,物体起初是红色的,然后变成橘黄色,最后变成白色(或蓝白色),也就是“最热”的颜色。(这就解释了那个形容物体非常热的习语——“白热”。)

温度与炽热物体颜色的关系对宇航员是很有用的。恒星的颜色与它的温度有关。因为人们无法穿越极其遥远的距离去直接精确探测它们的温度,所以宇航员依

靠恒星的颜色来判断它们的温度。这个温度来自于恒星的表面,也就是恒星发出可见光的部分。隐藏在恒星内部的核含有比表面高得多的温度。但是从恒星颜色获取的信息依然是有用的。蓝色恒星的表面温度比红色恒星高得多,而太阳的温度位于这两个温度之间。



考虑两种金属黏合在一起的条带。不同金属随温度升高一般会以不同的速率膨胀。随着温度增加,一种金属膨胀得比另一种更多一点,这使得条带发生弯曲。在 A 图的条带中,白色条比黑色条膨胀得更多,但是被黑色条拖拽,所以向右侧弯曲。弯曲的程度决定于温度(B 图)。将条带拉长至螺旋状,就构成了实用的温度计。

与其他度量衡一样,温度也有自己的标准和单位,而且有几种不同的温度标定方法。最常见的温标有摄氏度($^{\circ}\text{C}$),华氏度($^{\circ}\text{F}$),以及开尔文或者绝对温度(K),分别是以提出温度标准的科学家的名字命名的,他们分别是安德斯·摄尔修斯(Anders Celsius),加布里埃尔·华伦海特(Gabriel Fahrenheit)和威廉·汤姆森(William Thomson,也即开尔文勋爵)。美国人通常使用华氏温标,而世界上的其他地区大多使用摄氏温标。

华氏温标和摄氏温标都是以两个特征温度作为基础的,它们是水的冰点和沸点。这两个温度在华氏温标中分别被定为 32 和 212;而在摄氏温标下被定为 0 和 100。(因为气压和海拔影响到这些数值的大小,温标定义时采用的是海平面上水的冰点和

沸点。)这两个数字是任意给定的,但是它们之间的范围决定了温度单位的大小,这些温度单位就叫做度。华氏温标在水的冰点和沸点之间有 $212 - 32 = 180$ 度,而摄氏温标有 100 度。(由于这个缘故,摄氏度有时被称为“百分度”。)显然华氏温标中的一度与摄氏温标中的一度是不相等的,两者的关系可以用下面的公式描述

$$T_{\text{Fahrenheit}} = 1.8 T_{\text{Celsius}} + 32$$

在开尔文温标或绝对温度温标下,每一度的大小与摄氏温标相同。所以同样的,在绝对温标下海平面上的沸水要比冰水高 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。但是在绝对温标下水的冰点定在 273.15 K ,沸点定在 373.15 K 。选择这些数字看起来很奇怪,这是由于绝对温标是建立在能够达到的最低温度的基础上的。没有一样物体会低于这个温度,也就是绝对零度。这个温度在绝对温标下被定义为 0 K 。将这个温度选择为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 决定了温标中的其他温度的数值,其中包括水的冰点和沸点;这是因为温标单位的大小(K)已经选择与摄氏度一样大了。

存在一个最低温度看起来是合理的。如果温度确实是原子和分子运动的度量的话,那么它们不运动时就应该处于可能的最低的温度。但是事实上不像看起来那么简单。绝对零度下并不是没有运动,而是运动处于最少的状态。绝对零度对应于一个运动量的最小值而不是零运动,是由于量子力学支配了粒子运动规律引起的。虽然量子力学中的概念看起来大多稀奇古怪,但是很多实验确实支持这个理论。量子力学宣称:没有粒子可以处于完全静止的状态。关于热力学中的绝对零度在第三章中还会进一步谈到。

温标使人们能够确定任何温度的大小,比较不同物体温度的差别。一个烤箱可以被精确设定在 $450\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($232.2\text{ }^{\circ}\text{C}$),这可比水的沸点要温暖得多。加拿大某个 1 月份的温度可能是一 $13\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$),肯定可以很快地把一杯水冻住。太阳表面的温度大概是 $1.05\text{ 万 }^{\circ}\text{F}$ ($5\,815\text{ }^{\circ}\text{C}$);而太阳内部的温度——因为不能直接探测,现在只能通过假想来计算——可以达到 $2\,700\text{ 万 }^{\circ}\text{F}$ ($1\,500\text{ 万 }^{\circ}\text{C}$)。

能量流

热是在物体之间流动的能量,反映到人类的触觉上,就是冷和热的感觉。能量流自然地由热物体流向冷物体(或者至少不比热物体更热的物体),例如将一种饮料倒进冷玻璃杯里——杯子会变热,而饮料会变凉。这个过程背后的物理实质是热物体中的粒子将它们的一部分能量传给了冷物体中的粒子。

热物体中的原子和分子可以通过 3 种方式将运动的能量传给冷物体中的原子和