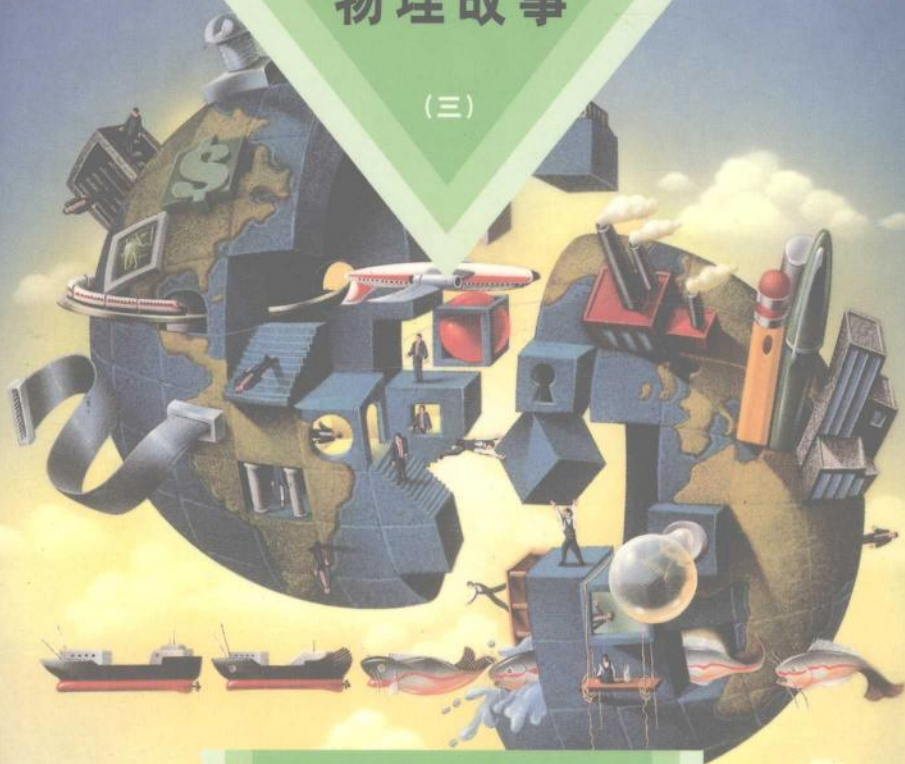


SHIJIE JINGDIAN KEXUE GUSHI

世界经典科学故事¹⁹

物理故事

(三)



本书编写组 编

中国和平出版社

N49

358/(3)

故事

物理故事

(三)

本书编写组 编

中国和平出版社

什么是热？

人类在原始时代就学会用火，接触到了热现象。有关热是什么的问题，很早就成为人们所探讨的对象，形成两种截然相反的见解。

一种见解把热看成是自然界的特殊物质。我国殷朝形成的“五行说”，把热（火）看做和金、木、水、土相同的东西，是构成宇宙万物的物质元素。在古希腊产生的物质元素论中，也把热（火）看做是一种独立的物质元素，赫拉克利特认为，世界就是火。

另一种见解把热看成是物质粒子运动的表现，我国古代朴素唯物主义思想家提出的“元气论”，就认为热（火）是物质元气聚散变化的表现。在古希腊和古罗马，也有一些学者，尤其是原子论者，把冷热看成是物质微粒（原子）在虚空中运动的一种表现。卢克莱修就曾经说过，运动能够使一切东西都变得很热，甚至燃烧起来。

不过，在科学不发达的古代，这两种见解都只是凭直觉的猜想。

在漫长的中世纪，热学丝毫没有进展。直到 17 世纪以后，一些著名科学家根据摩擦生热的现象，恢复了古人关于热是物质粒子的特殊运动的猜测，譬如，英国的培根就曾说过，热是一种运动。法国的笛卡儿更把热看成是物质粒子的一种旋转运动。当时，胡克、牛顿、罗蒙诺索夫等人都相信和支持



热是运动的观点。但是因为没有充分可靠的实验依据,这种正确的观点还没有形成系统的理论,更没有赢得学术界的普遍认同。

到了18世纪,人们对热的本质的认识,奇怪地走上了一条弯曲的道路,复活了古人把热看作是特殊物质的错误猜测。英国的布拉克提出了系统的“热质说”,又叫做“热素说”。他认为热是一种看不见、没有重量的流质,叫做热质。热质能够渗透在所有物体之中,物体的冷热取决于它所含热质的多少。热质可以从比较热的物体流到比较冷的物体,就像水从高处流向低处一样。自然界存在的热质数量是一定的,它既不能创造,也不会消灭。

热质说能够顺利地解释众所周知的热现象。譬如,说物体受热膨胀是热质流入物体的结果,热传导是热质的流动,对流是载有热质的物质的流动,太阳光经过凸透镜聚焦生热是热质集中的结果,等等,因此它推翻了热是运动的观点,获得了广泛认同。1789年,法国的拉瓦锡把热列入他的化学元素表里,用T表示,属于气体元素类,物理学中常用的热量概念和它的单位卡路里(简称卡),也是在热质说的基础上建立的。当时,热量就表示热质的多少。

热质说获得胜利,成为热学的正统理论后,仍然不时受到一些新的实验事实的冲击。比如在冰溶解成水和水沸腾变成蒸汽的过程中,只吸收热量,温度并不升高的事实,就向热质说提出质问,按照热质说,物质含的热质越多,温度应该是越高。给冰加热,就是把热质注入到冰里去,所以冰的温度应该慢慢升高。然而冰溶解的时候,尽管每1千克冰吸收了80千卡热,冰的温度没有升高,同样,水沸腾的时候,每1千克水虽然吸收了539千卡的热,水的温度并没有升高,冰或者水吸收



的热质跑到哪里去了呢?

还是布拉克提出了一种“巧妙”的解释,说这些热质“束缚”到物质内部去了,或者说“潜伏”起来了。他把这部分热质叫做“潜热”。虽然这种解释让人无法接受,但是也能搪塞过去。就这样,热质说在热学中称霸了近一百年。

热质说到底是不是真理呢?只有科学实验才能作出权威的判断。

1798年,从美国移居欧洲的科学家汤姆生,后来被封为伦福德伯爵,在用钻头钻炮筒的时候看到,钻头、炮筒和铁屑的温度都升高了,而且产生的热量和钻磨量或多或少成反比。他发现,钝钻头比锐利的钻头能够给出更多的热,但是切削反而少了。这和热质说的观点是相矛盾的。根据热质说,锐利的钻头应当更有效地磨削炮筒的金属,放出更多的和金属结合的热质。伦福德还用一只简直不能切削的钝钻头,在2小时45分钟里使大约8千克的水达到了沸点。实验使伦福德得到了“热是由运动产生的,它决不是一种物质”的正确结论。

热质说的拥护者人多势众,对伦福德的发现进行了各种刁难和歪曲,嘲笑他违反“常识”。他们说,钻炮时候的热是其他化学变化产生出来的。伦福德经过认真检查,没有发现在钻孔过程中有任何东西发生了化学变化。热质说的拥护者们又声称,热是因为钻头把组成炮筒的金属中的“潜热”钻出来了。伦福德又经过反复检验,没有发现金属发生了从液态到固态或者从气态到液态的转变。因此“钻出了潜热”的说法纯属谬论。极力维护热质说的人又说什么这是因为金属的比热发生了变化。在激烈的唇枪舌剑中,虽然热质说理屈词穷,但仍不甘失败,最后宣称热是由“外面的热质跑进来的”,千方百计把新发现纳入自己的框框。



为了推翻热质说,1799年,戴维做了冰的摩擦实验。他在真空中用一只钟表机件让两块冰相互摩擦,整个实验仪器的温度恰恰是冰的冰点温度。实验结果,两块冰在摩擦的地方不断溶解成水。大家知道,水的比热比冰的比热还要大。这个实验驳倒了“外边的热质跑进来的”谬论,也证明了所谓热质不生不灭的守恒定律是错误的。根据确凿的实验事实,戴维大胆否定了热质的存在,认为热是一种与众不同的运动,也许是各个物体的许多粒子的一种振动。

做功可以产生热,消耗热也能做功,功和热之间是否有确定的关系呢?为了寻找这个关系,就是测定所谓的热功当量,英国的物理学家焦耳,从22岁开始,花了将近40年时间,一共做了400多次实验,他历尽艰难,顶住种种压制,终于创建了辉煌业绩。

在19世纪40年代头几年,默默无闻的焦耳埋头做实验,用各种方法初步测出了热和功之间的数量关系,提出只要做了一定数量的机械功,最终能得到和这个功相应的热。这个新的发现在科学界引起轰动,有的认同,但更多的是遭到怀疑和反对,甚至无理地拒绝他在皇家学会宣读实验论文。

焦耳不畏困难,决定继续实验,用更精确的实验来推翻反对派。1847年,他精心设计了一个迄今为止认为是最好的实验,那就是在下降重物的作用下,使转动着的叶片和水发生摩擦而产生热。焦耳坚信,自己的实验结论是对的。

在这一年六月举行的英国学术会议上,焦耳要求宣读论文,又遭受阻拦,他费尽口舌才被同意做简要介绍。然而,他的介绍遭到信奉热质说的科学权威汤姆生等的强烈反对,连法拉第也表示怀疑。

直到50年代,由于其他国家的科学家从不同角度也得出

了热功当量的数量,焦耳的成就才得到公认,他本人也被选为英国皇学会会员。

1878年,年过六旬的焦耳对热功当量做了最后一次测定,得到的结果是423.9千克力/千卡,和30年前的测定结果相关极小。为了纪念他,人们用他名字的第一个大写字母J来表示热功当量, $J = 427$ 千克力/千卡,意思是,1千卡的热量 and 427千克力的功相当,如果功用焦耳做单位,热量用卡做单位, $J = 4.18$ 焦/卡。

热功当量的测得,标志着热质说被彻底推翻,热的运动说取得最终胜利,也导致了自然界的一条普遍规律——能量守恒和转化定律的建立。

通过长期反复较量,在实践中经受了考验的热的运动说终于赢得了胜利。

热的运动说指出,热量是物质运动的一种表现。它的本质就是物质内部大量实物粒子——原子、分子、电子等的杂乱无规则运动。这种热运动越剧烈,由这些粒子组成的物体就越热,它的温度也就越高。物质的运动总是和能量联系在一起的。实物粒子的热运动所具有的能量,叫做热能。热运动越剧烈,它所具有的热能也越大。所以,温度其实就是无数粒子的热运动平均能量的量度。

19世纪中叶以后,热力学的理论和实践都取得了突飞猛进的发展。

分子组成物质

2000 多年以前,我国古代的学者提出了“一尺之棰,日取其半,万世不竭”的推论。“棰”是一种策马鞭上的短木棍。意思是,一尺长的短木棍,每天分割一半,就是亿万年也分割不完。它朴素地说出了物质无限可分的思想。但是,对于木棍这样的具体物质进行机械分割,是不可能“万世不竭”的。

譬如你“日取其半”地分割一尺长的木棍,分割到第 29 天,剩下的长度大概是五亿分之一尺,它还具有木头的性质。因为木头是由一种纤维素的单元构成的,这是一种很长的链,每个环节差不多是五亿分之一尺,和第 29 天分割之后剩下的长度相当。但是经过第 30 天分割后,剩下的长度仅有十亿分之一尺,变成了比组成木头的纤维素单元更小的东西。在第 30 天以后,虽然物质还能够无止境地分下去,但是分出来的小粒子已经不再具有木头的性质了。可见,具体物质的分割是有限度的。

在物理学中,能够保留某种物质性质的最小粒子,叫做这种物质的分子。自然界里姿态万千的物质,都是由各种各样不同的分子组成的。

分子的尺寸和重量都小得惊人。一滴油滴到水面上,可以扩散很大面积,油层能够薄到只有百万分之一厘米;延展性很好的金子,可以加工成厚度仅有十万分之一厘米的金箔。



但是这样薄的油层还有几十个油分子厚,这样薄的金箔竟然有几百个金分子厚。

精确的实验告诉我们,普通物质分子的直径,大约只有亿分之几厘米。在物理学中,经常把亿分之一厘米叫做 1 埃。像水分子的直径是亿分之四厘米,就是 4 埃。这是一个极小的数字,把 2500 万个水分子一字排开,总长度才是 1 厘米。蛋白质分子的直径也仅有几十埃。

常见物质里含有的分子不计其数。譬如 1cm^3 的水里含有 335 万亿亿个水分子,如果把它们平均分给全世界所有的人,每个可以分到 8 万亿个。假想有一种极小的动物喝水,每 1 秒钟喝进 100 亿个水分子,喝完 1cm^3 的水最小也要用 10 万年以上的时间!

分子的质量也非常微小, 1cm^3 水的质量是 1 克,所含有的水分子是 335 万亿亿个,所以一个水分子的质量只有 2.99×10^{-23} 。分子里最轻的是氢分子,质量小到只有 3.35×10^{-24} 克,拿一个氢分子质量和一个中等大小的苹果质量相比较,大约相当于这个苹果质量和地球质量之比。

分子的热运动

组成气体的分子都非常活泼。比如你种的茉莉花,一旦开了花,全家甚至邻居都能够闻到扑鼻香气;鱼、肉坏了,会弄得四周臭气熏天。组成液体的分子也很活泼。你在一杯清水里滴入一滴墨水,墨水就会渐渐散开,和水完全混合。这表明一种液体的分子进入到另一种液体里去了。也可以说液体分子在不停地运动。固体分子,也不安分守己。比如把表面非常光滑洁净的铅板紧紧压在金板上,几个月以后就能发现,铅分子跑到了金板里,金分子也跑到了铅板里,有些地方甚至进入1毫米深处。如放5年,金和铅就会连在一起,它们的分子互相进入大约1厘米。又如长期存放煤的墙角和地面,有相当厚的一层都变成了黑色,就是煤分子进入的结果。

证明液体、气体分子做毫无规则运动的最著名的实验,是英国植物学家布朗发现的布朗运动。

1827年,布朗把藤黄粉放入水中,然后取出一滴这种悬浮液放在显微镜下观察,他奇怪地发现,藤黄的小颗粒在水中像着了魔似的不停运动,而且每个颗粒的运动方向和速度大小都改变得很快,好像在跳一种杂乱无章的舞蹈。就是把藤黄粉的悬浮液密闭起来,无论是白天黑夜,夏天冬天,随时都可以看到布朗运动,无论观察多长时间,这种运动也不会停止。在空气中同样可以观察到布朗运动,悬浮在空气里的微



粒(如尘埃),也在跳着一种乱七八糟的舞蹈。

发生布朗运动的原因是组成液体或者气体的分子本性好动。比如在常温常压下,空气分子的平均速度是 500 米/秒,在 1 秒钟里,每个分子要和其他分子相撞 500 亿次。好动又杂乱无章的分子从四面八方撞击着悬浮的小颗粒,综合起来,有时这个方向大些,有时那个方向大些,结果小颗粒就被迫做起杂乱无章的运动来了。

你倒一杯热水和一杯冷水,然后向每个杯里滴进一滴红墨水,热水杯里的红墨水要比冷水杯里的扩散得快些。这说明温度高,分子运动的速度大,并且随着物体温度的增高而增大,因此分子的运动也做热运动。

热与冷的对象与环境

当我们拿着一块冰,说它冰冷彻骨的时候,实际上已经不由自主地把这块冰当作了我们所讨论的对象。对于这块特定的冰,它有一定的外观形状,一定的体积和重量,如果说得更准确一些,它是由大量的水分子微粒组成的,在空间内由若干宏观的几何界面限制在一定的范围之内,像这块冰这样,有了一定的已知的宏观的约束与限制,还是由大量的微观粒子组成,这种形式的我们所描述的对象,热学中便称为体系,或者热力学体系。值得重视的是,组成热力学体系的虽然能是原子、分子、离子乃至电子、光子以及其他粒子等等,但必须是大量的,且在一定的能够描述的宏观界面约束之内。少数几个粒子不能构成一个热力学的体系,几个水分子不能被称之为冰冷的冰块,因为这数量极少的粒子,我们已经无从谈起它的冷与热,无法用热力学性质去描绘它们,因而它们也就超出了热力学的范围,是非热力学体系。只有当一块冰,就算是很小的一块冰,但我们只取那其中的极小的部分,那一小部分仍能表现出冰的热力学性质,我们才能说它达到了热力学极限条件,这块冰才能称为一个热力学体系。在我们宏观的日常生活之中,各种冷与热的对象均具有 10^{23} 数量级的粒子数,体积线度也达到了厘米乃至米。比原子分子本身的尺度大得多,都是满足热力学条件的,因而均可称为热力学体系。



冷与热的物体,作为我们所描述的对象,通常是我们所不会忽视的。不过我们常常容易忽视所描述体系所处的周围环境。正如在力学中施力物对于受力物的研究是非常重要、必不可少的。热学中的环境对于体系也是特别重要,尤其是“热源”这个特殊环境,体系与环境之间总有特定的相互作用的,譬如环境规定了体系的宏观约束如界面、体积等,环境还可能与体系进行物质和能量的交换,从体系中吸走热量,或者给体系增加能量,从体系中分走一些物质,或者增加体系中的物质等等。按照相互作用的不同,体系可分为三种类型:

1. 开放体系。体系与环境的边界能够进行物质和能量的交换,尤其是物质交换。

2. 封闭体系。体系与环境的边界有效隔离,虽然能够传递能量,但不能交换物质。

3. 孤立体系。体系与环境的边界完全隔离,既不能交换物质,也不能交换能量,即体系与环境之间没有任何相互作用。实际上这仅是一种理想化体系,由于任何体系与环境之间总是有相互作用的,像在地球上,任何一个体系都免不了受地球这个大环境的重力场作用,只是我们在研究体系的某些性质时,把与这种性质相关性不大的与环境相互作用能忽略不计,从而抽象出理想化的孤立体系来。

体系的各部分之间,体系与环境之间不停地存在着复杂的相互作用,每个时刻的体系的相关性质,都能够用某些量参数来表达,这些参数便是这个时刻下特定状态的状态参数。一个体系,当在一定的情况下,它的若干宏观性质都不再随时间的变化而变化时,即它的状态参数不再因时间而不停地变化时,我们说这个体系达到了平衡,处于一种平衡态,平衡态



的状态参数是非常有实际意义的,它表现的性质常常是我们研究的对象,如一块冰的体积、热与冷、形状等等。这里之所以要强调它的若干的宏观性质而不是全部性质,是由于处于平衡态的体系内部仍处在运动变化的过程中,微观性质可能随时间的不同而不同,因而这种宏观上的平衡态,仅是一种动态平衡。

热与冷的量度

我们在生活中所说的冷与热,在观念上只是一种人体神经系统的感觉,有一定的相对性。不过在热学理论中,冷与热的程度却是定量的能用数值来量度,人们也都知道那便是温度。

两个具有不同的冷热程度数值的物体,当它们通过一定的壁而相互接触时,都会发生不同程度的相互作用。假如它们之间的壁透热程度好,是透热壁,则它们之间的相互作用比较快,极易达到平衡态——热平衡;就是透热性差的壁,乃至理想化的绝热壁,也是有一定程度的相互作用。人们在研究两个或多个物体通过一定程度的透热壁而相互作用的过程中,结合大量热平衡实验的结果,提出了一个十分重要的定律,这就是热力学第零定律:

“分别与第三个物体达到热平衡的两个物体,它们彼此也一定互呈热平衡”。

热力学第零定律也称为热平衡传递原理。物体 A 与物体 B 互呈热平衡,物体 B 又与物体 C 互呈热平衡,那么物体 A 就与物体 C 互呈热平衡,热平衡这种性质便通过 B 而由物体 A 传到了物体 C ,就像接力一样。这个定律是来源于实践的,但在某种意义上又高于实践,具有普遍性的品格。它揭示出均相体系存在着一个新的平衡性质,那就是冷热程度的数



值的表示——温度。于是第零定律的内容也能够用温度定理来表述：“任一个热力学的均相体系，在平衡态各自都存在一个状态函数，称之为温度；它具有这样的特性，对于一切互呈热平衡的均相体系其温度彼此相等。”

温度定理揭露出温度是热力学体系的一个宏观的状态参数，是体系自身热运动性质的反应；这个状态是通过什么途径来达到的，例如一瓶水的水温是由冷水加热达到还是由热水降温达到，或是由冷水与热水混合达到，都与它这个状态参数——温度并没有必然的因果关系。另外，一块冰分成不同大小和形态的两块，它们仍然将具有原来的热平衡状态，仍然具有原来的温度，从而也表明了温度是一个具有特殊性质的物理量，它不像重量、体积、微粒数量等物理量那样具有加和的性质。

热与冷的尺度

每一个物体,它的长度、重量等都是这个宏观物体的内在属性,它与我们称量它们的方式及我们所使用的长度及重量单位是毫无关系的。但是,假如要得到一块铁条的长度的数值重量的数值,我们就规定长度、重量的单位,才能够表达出这块铁条长度为 10 厘米或 3 寸,重量为 0.5 千克或者 1 市斤。这便是度量单位对于物体的宏观参数的数值表达的重要性。

同样,温度也是一个物体体系的宏观状态参数,它与温标的选择是毫无关联的;但假如我们想以一定的数值表达出来,从而进行相互的比较或者交流,那我们就必须选定一种温标。温标包括指定的单位及所选用的固定点的温度数值,在这里,固定点通常选用各物质纯净态各相间的平衡态,因为那样的状态是可以重现的,而且具有相同的状态值。在人们对温度的标定的漫长历史过程中,陆续选用过多种温标,如摄氏温标、华氏温标、气体温标及热力学温标等,其中可以分为经验温标和热力学温标。

由于水是人们日常生活中间很广泛的很常见的物质,因而人们在很多方面都尽量利用了水的种种性质,温标的确定也同样如此。很久以前,人们发现在一个标准大气压下,只要是纯水与纯冰的混合物,无论是大量的水与少量的冰组成的平衡态,还是少量的水与大量的冰组成的平衡态,它们都具有