



华东师范大学
函授教材

分子物理学与热力学讲义

物理学系师生合編

华东师范大学出版社

华东师范大学函授教材

分子物理学与热力学讲义

华东师范大学物理学系师生合编

(第一册)

华东师范大学出版社

分子物理学与热力学讲义

(第一册)

华东师范大学物理学系师生合编

(内部读物 凭证发行)

*

华东师范大学出版社出版

(上海中山北路3663号)

上海市书刊出版业营业许可出字0八八号

商务印书馆上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

*

开本 787×1092 公厘 1/27 印张 2 8/27 字数 51,000

1958年11月第一版

1958年11月第一次印刷

印数 1—3,880

统一书号：13135·4

定价：(10) 0.36 元

目 录

引言	(1)
----------	-----

第一章 理想气体	(11)
----------------	------

1.1 气体的状态参量	(11)
1.2 理想气体的实验定律	(11)
1.3 理想气体和实际气体	(14)
1.4 理想气体的态式	(16)
1.5 气体常数及气体密度	(18)

第二章 气体分子运动论	(20)
-------------------	------

2.1 分子运动论的实验基础	(20)
2.2 气体分子运动论的基本假设	(22)
2.3 理想气体底压强的基本公式	(23)
2.4 理想气体底能量的基本公式	(25)
2.5 方均根速度及气体定律的解释	(26)
2.6 分子射线及分子速度的测定	(29)
2.7 统计性的分布律及分布曲线	(31)
2.8 麦克斯韦速度分布定律	(32)
2.9 分子的平均自由路程	(35)
2.10 气体的粘滞性	(37)
2.11 气体的热传导	(41)
2.12 气体的扩散	(44)
2.13 极度稀薄气体的扩散与粘滞性	(47)
2.14 真空抽气机——转动式抽气机, 扩散式抽气机	(48)
2.15 低压的测定	(51)
2.16 真空技术在工业上的应用及其发展	(53)

分子物理学与热力学讲义

引 言

(一)分子物理学与热力学研究的对象与方法

物質有多种多样的运动形式，在力学中我們已經研究过物質最簡單底机械运动的規律。現在将要研究有关热現象底比較复杂的物質运动形式。

由于研究方法的不同，我們把它分为两个部門：分子物理学与热力学。

分子物理学的出發点是物質的分子运动，即一切物質的分子或原子是永远处于复杂的运动状态中，而分子物理学中研究的方法是統計方法。对于个别分子的量，例如速度，能量等，叫做微觀量，一般是不可能用实验来直接测定的；普通实验所观察到的量，是大量分子底微觀量的平均值，表示分子集体特性的，叫做宏觀量。应用統計法則，从大量个别規則的事件中，可以得出一定的規律，也就是根据物質分子結構，建立宏觀量与分子微觀量間的关系，用微觀理論来解釋所观察到的物質的宏觀本質。热力学中研究的方法，和分子物理学不同，不考慮物質微觀結構的不連續性，只从能量观点研究物質底宏觀量間的关系。因此热力学是从能量观点，根据能量轉換的实验定律研究在物質状态变化过程中有关热功轉換的关系和条件的問題。并且当热力学理論应用在实际中又得到更进一步的发展，近代热力学已發展成为研究热和各种能量間关系的學問，它的重要性不但可以应用于热和机械能的問題，应用于物体的膨脹，熔解，蒸發等的現象，并且已应用于物体的电和磁的現象，以及光的輻射等的問題。除了热

力工程外，物理化学或化学物理学的專門教程中，都要加以研究和应用。

近代关于化学和金属与合金的研究中也都应用热力学理論到实际中去。而有所謂化学热力学、冶金热力学等。

分子物理学和热力学研究的方法虽然不同，但是研究的对象是一致的；分子物理学的理論，經热力学的研究而得到验证，而热力学所研究的物質宏观本質，經分子物理学的分析論証，可以得到物質本質上的理性認識。它們是相互充实，實質上是形成一个整体，使我們对于物質世界的某些性質，能够逐步地深入了解，同时对于物質状态变化的規律，能够更好的掌握。

(二) 分子物理热力学的發展簡短历史

因为分子物理学的出發点是物質的分子运动，所以分子物理学的发展是随着物質构造的知識而发展起来的。在罗蒙諾索夫解释热現象之前(远在2000年以前)古代哲学家对于物質的結構，曾提出各种看法。在中国古代有一种五行学說，認為万物是水、火、木、金、土五种物質組成，和希腊学者認為万物是土、气、火、水四元素組成的学說很相似。其中符合現代概念的要推到古希腊著名思想家列希浦和德漠克里安斯、孟斯等提出的物質原子結構的概念，他認為一切物質都由極小的微粒“原子”构成，各种不同物質具有各种不同原子，这些原子在不断地运动，环绕我們世界的所有物質都是由于原子的各种运动和各種結合而形成的，但当时由于教权的統治，禁止傳播“世界一切由原子构成的”唯物思想，德漠克里安斯、孟斯的学說被人遗忘了，在十七、十八世紀由于自然科学和生产發展，物質結構的学說又重被提出来，出現了一些比原子論更进一步的分子运动論的假說。1658年伽森第以分子运动論的观点解释物質三态的区别。1678年胡克又以气体分子不断碰击器壁的結果解释气体压强产生的原因。1738年伯努利从胡克的基本假設算出气体压强和体积成反比的波意耳定律，以后罗蒙諾索夫以实验事实作基础，用分子不停地，无規

則运动來說明热現象，經過羅蒙諾索夫、拉瓦錫、道爾頓、阿伏伽德羅等先後創議和補充，前後奠定物質分子原子結構的基本理論。十九世紀六十年代，麥克斯韋、克勞修斯、波耳茲曼等在前人基礎上對物質分子作進一步的研究，對物質的某些現象或性質，例如壓強、溫度、熱容量等，同時還可以作定量的處理。其結果在很大程度上都得到實驗的驗證。這樣就使分子運動論得到更進一步的發展。1897年電子被發現以後，科學家用實驗觀察測定(α 質點對金屬原子的散射實驗)証實了分子和原子的真實性，加上愛因斯坦、斯莫路綽斯基和貝蘭對布朗粒子運動在理論上和實驗上進行研究的結果，也直接証明了分子熱運動的真實性，因此分子運動論就成為無可置疑的正確理論。分子學說的發展使人們對於物質的性質有了進一步的更深刻的認識而建立了分子物理學。

由於熱力學與分子物理在出發點方面和研究方法的不同，因此這兩門科學是經過不同的發展途徑而同時得到發展。

關於熱力學的發展是人類對熱現象的研究而發展起來的。

遠在實驗科學開始以前，人類已知道物體有冷熱的區別，並且也知道使冷熱不同的物體互相接觸後，它們會達到冷熱均等化的熱平衡情況。人類甚至也知道，如果物體 A 同時與其他物體 B 和物體 C 處於熱平衡，那麼物體 B 與物體 C 也互相關於熱平衡。這些經驗知識在未有科學以前已使人類有定性的溫度概念，在不聯系到數字量度下辨別溫度的高低。

科學研究開始以後，須要能夠定量地測定溫度。伽利略、托里拆利和同時代的其他學者，致力於創造溫度計，他們利用液體和氣體的熱膨脹作為量度溫度的基礎，與現今在大多數情形中採用的一樣，不過在這些原始溫度計中，不顧到許多次要的影響，例如空氣壓力的影響等，所以不能得到良好的結果。最早克服這種困難，把液體放在帶泡玻璃管內，並加熱空氣，然後封閉而製成溫度計者，是華倫海（就是現在所謂華氏溫標的華氏，1686—1736年）。所以華氏可稱為計溫術的創始人。但是他採用冰和鹽混合物的溫度為 0 度，與人體血溫為

100度,这两个固定点不够稳定,后来才經華耳西(攝氏, 1701—1744年)采用水的冰点和沸点而創始現代所用的攝氏温标。

約在公元 1760 年勃来克 (1728—1799) 首先明白指出热量与温度的区别,并初步規定了使 1 克水加增温度攝氏 1 度的热量为热量單位(卡)。勃来克与維耳克又各自独立地引入比热熔解潜热和汽化潜热等概念。測定热量的最早仪器是由拉瓦錫和拉普拉斯(1780)所描写的冰卡計。但因那时在实验上当温度均等化时总是一个物体获得多少热量,另一物体損失多少热量(就是現代量热术中的混合法),所以勃来克和他的同时代者認為热量是一种不能創造和不可消灭的物質,叫做“热質”。甚至在瓦特 (1736—1819) 于 1770 年發明蒸汽机后,仍不明了蒸汽机所作的功是由蒸汽的一部分热量轉变得来的。由于这种誤解,虽然卡諾(1796—1832)的才智指出了蒸汽机所作的功由热量从高温轉到低温的普遍規律确定(卡諾循环, 1824 年),起初也不引起任何效果。

我国有古代燧人氏鑽木取火的傳說。在战国时代驕衍創五行之說,后世遂以为木能生火,而不了解生火的真实原因不在于木而在于鑽。在西欧热学开始时代,情况也是这样。摩擦生热是人人知道的,但因迷惑于热質学說,把摩擦生热曲解为摩擦必有碎屑擦下,由于碎屑的比热远小于整体的比热,因而它們的温度加高。但是,抱有与热質学說不同見解的也不乏人。古希腊已有認為热是物質的一种运动表现的学說。英国培根(1214—1294)也根据摩擦生热現象而相信热是一种运动。俄国罗蒙諾索夫(1711—1765)更詳細地論証了热是分子运动的表现,然而热質学說直到 1798 年才开始动摇。德国倫福德在 1798 年把一个炮筒固定在水中,用馬轉动鈍鑽使在炮筒內摩擦,基本上不鑽下任何鉄屑,但能使大量的水沸騰。又过一年(1799)英国化学家戴維把两塊冰互相摩擦,使完全熔化成大片的水。这些实验的結果才无法用热質来解釋,而使人們开始逐漸了解热和功之間的关系。

最早得出热功当量的,实在是卡諾。但是他錯誤地認為热量是

在数量上不能改变的物質。直到1878年当能量守恒定律久已获得公認的时候,才把久已遺亡的卡諾遺著出版,在这論文中卡諾放弃了先前的錯誤观点而正确地指出热功当量的数值关系。第二个提出能量守恒理論而从空气的定压比热与定容比热的差标出热功当量的,是德国医生馬厄(1842年),但是他的工作并未受到当时人的重視。至于用实验方法准确测定热功当量,因而算定能量守恒定律基础的,必須归功于焦耳(1818—1889)。焦耳于1843年写了关于伽伐尼电流的热效应的論文(在1846年發表的。因此电流通过电阻所放出的热量,后来就叫做焦耳热)。又于1845年發表了用机械生热法求得热功当量的結果,到1850年,能量守恒定律才成为科学界所公認的自然界普遍定律。

能量守恒定律組成了热力学第一定律,它指出机械功必須由能量的轉变来获取。因此否定了創造机械功的所謂第一类永动机的不可能性,但是它对于热能轉变为机械功并未加以任何限制。开耳芬(原名湯姆孙,1824—1907)在1848年根据卡諾在1824年所發表的定理,規定了绝对温标,克勞修斯(1822—1888)又在1850年根据同一定理建立了热力学第二定律,指出从单一热源取出热量来完全变为机械功而不附帶其他效果(所謂第二类永动机)的不可能性。

上述两个定律組成了完整的热力学系統。1912年,能斯脫又根据实验資料,补充一个关于低温現象的热定理,或称热力学第三定律。此定律指出温度的绝对零点的不可能达到性。

虽然分子物理与热力学是同时分別發展起来的,但是因为它們的研究对象是一致的,因此在它們的發展过程中也有着相互影响,相互补充的。而使我們对整个热現象的認識和了解更为深入。

(三)分子物理学与热力学中唯心論与唯物論的斗争

分子物理与热力学的發展也都为辨証唯物主义的世界觀提供了有力的科学的根据。但是在它們的發展过程中也都曾受到唯心論思想的阻碍,影响它們的正确發展。例如上文所講过的热質說就阻碍

了人們对于热的本質的認識，而且相当長一段时期內它是处于优势的地位，虽然后来是完全被推翻了，但是直到近代在热学中也还留下了不少残余影响，容易使人对热的概念有所混淆，因此我們必須对它加以詳細分析批判。

热質說認為热是起源于一种特殊的无重量的流質、有高度的彈性，可通过許多物質，它和通常的物質混在一起，热質不生不灭，遵守热的平衡定律，物体里的热質越多，物質就越热。热質可以从較热物体流到較冷物体中去，并且同时可以作功，正如水由高处流到低处一样。当时这种无重量的物質的說法还很多，还有燃素，彈性質等等。热質說認為要加热一个物体就是要有一个溫度較高的物体中的热質多于另一物体、高溫度物体热質的减少等于另一物体所增加的热質，因而达到了热的平衡概念。用热質說可以解釋一些热現象，但是有很多現象是热質說不能解釋的，特別是摩擦生热的現象。

俄国学者罗蒙諾索夫首先指出当时处于领导地位的热質学說的錯誤。他指出，热現象不需要关于特殊物質的觀念来解釋。由于物質的原子結構，物体可能沒有整体运动而組成物体的粒子有运动。按照罗蒙諾索夫所最先体会到的观念，热現象就是物体的这种“内运动”的表现。从这种观念出發，罗蒙諾索夫正确地把溫度理解为物体、内运动强度的衡量，預言溫度的絕對零点的存在，說明了热傳导方向性的要点，深刻地闡明了热平衡状态乃是一种运动形态，并且因此發現了由他創立的运动守恒定律。

罗蒙諾索夫指出热的分子运动論的要点，在于像溫度、压力、热量等热力学概念不适用于个别原子和分子。他特別詳細地說明，为什么例如作用于貯器壁的气体压力是極大数目的粒子的共同作用。按照罗蒙諾索夫，气体的彈性表現并非个别粒子的彈性表現，他想像組成气体的粒子并无内形結構，而气体的彈性是許多粒子共同作用的結果。

后人对罗蒙諾索夫的两篇論文的研究指出，在二百年来的科学进展上，明确了并补充了他的观念，但是他的基本思想并无动摇。

除了罗蒙諾索夫之外反对热質說的也頗不乏人，但是由于当时热質說能解釋一系列的热現象而占据了领导地位，最后給予热質論以无情的打击的还是两个关于摩擦生热的实验事实。（已如上节中所述）而使热質論完全破产。現在我們可以把热質說的錯誤归納为以下几点：

1. 热質論者錯誤地把物質和运动分割开来，不能客觀地揭露事物的本質。認為不同的現象总是由不同性質的特殊物質所引起的，而这种特殊的物質与原物体无关，把运动与物質机械地分割开来，好像很多种不同的东西存在于物体中，它們进行着分工，“燃素”只管燃燒，“热質”只管冷热，“彈性質”只管彈性質。我們認為物質与运动是不可分割的，运动是物質存在的形式，既沒有不运动的物質，也沒有物質不在运动。

2. 热質說者錯誤地認為外因决定一切，外因是根据。他們單純的从物体外部找原因，当物体中加入某种特殊物質时物体就具有某种特殊性質了，他們沒有看到事物的內在联系，實質上分子运动是热現象的內因，这才是根据，摩擦、冲击、加热只能加剧分子运动而使物体温度升高，这是外因，而外因不过是条件，外因总是通过內因起作用的。

3. 热質說者認識事物是唯心的，他們沒有从客觀实践出發而臆想出实际不存在的特殊物質，把一些虚构的东西强加在事物上。热質說在今天看来是显然錯誤的，但在当时是在較長一段時間中占据相当地位的。这一方面是由于在当时（尤其是初期）还有它一定的積極作用，还能解釋某些現象，而另一方面这种唯心的机械唯物观点还相当巧妙的隱蔽起来，以致迷惑了一些人，例如在上节中所述的科学家卡諾，他本来已有足够的知識和資料可以得到正确的热力学定律，也可以再深入下去，但是他是以热質說为基础的，所以阻碍了他在這方面的發展。这都是热質說給热学的發展中帶來的障礙。因为热質說能解釋热平衡等現象，因此热的流入、流出等的說法至今还殘留下來，但是我們不应像从前那样来理解它，我們要在了解了热的本質之

后,虽然有时仍沿用这种字眼和说法,但是要理解为新的内容才不致产生错误的认识。

另一方面在十九世纪末年奥斯特瓦尔德提倡了“唯能论”,认为只要用能量概念和热力学的理论就可以说明自然界的一切现象。反对分子运动论,而不承认分子的存在。奥斯特瓦尔德说:“一切外在现象都可以描述为能与能之间的过程。”这点可以这样最简单的加以说明,即我们的意识过程本身就是能的,并且把自己的这种特性“能”传递给一切外在的经验。他的这种思想是唯心的,是脱离物质的运动而看能量。列宁在他的“唯物论与经验批判论”中这样批判过“这道地的唯心论不是我们的思想反映外在世界中能的转变化。而是外在世界反映我们的意识的特性”。

唯心论者为了推翻唯物论,首先颠倒关于运动与物质的统一,关于运动不能离开物质而存在,关于运动是物质存在的形式的原理。唯物主义者认为一切使运动脱离物质的企图都是观念论和神秘论。斯大林在他的“辩证唯物主义和历史唯物主义”中这样写道“世界按其本质来说是物质的。世界上形形色色的现象是运动着的,物质的各种形态,各种现象由辩证法所判明的相互联系和相互制约是运动着的物质的发展规律。世界按物质运动的规律发展着,而并不需要什么宇宙精神”。经过近代分子运动的实验结果,这种唯心论的不攻自破,更能自然地彻底的解决了。

在热力学第二定律确立之后又有唯心的“热寂论”的出现,关于它的内容及对它的分析批判,我们将在第五章热力学第二定律中再详细讲过。

(四) 分子物理学与生产技术的关系 及其在社会主义建设中的作用

热力学本来就是从生产实际中发展起来的,因此它在生产实际中是广泛的应用着。例如各种热机都是应用着热转换为功的普遍原理的、在生产实际中不但应用着热力学理论并且这常常由生产实际

中提出新的問題，因此又推動着熱力學理論的發展。例如由於蒸汽機底應用，就迫切要求解決熱底最有利的轉換為機械功的問題。人們也曾想出種種方法來改善熱機的構造等等以提高熱機的效率，單純的從這種方法並未能使問題得到解決。自從1824年法國人卡諾一般地研究了熱轉換為功的問題後，實際提高熱機底效率才成為可能。卡諾的研究，同時也給建立能的傳遞與轉換的普遍學問——也就是熱力學——打下了基礎，後來的得以發展而得到第二律。由此可見實際的需要，結果就產生了新的物理上的發現，而新的物理上的發現又是技術底進一步發展的基礎。所以生產技術實際與理論在它們的發展過程中相互影響，相互推進而得到更進一步的發展。

在今日社會主義建設中各種交通工具、工廠中的動力設備也還大量地應用着蒸汽機，內燃機，汽輪機等。現在還有一種熱機——鍋駝機在當前農村中廣泛的應用着，特別是農村中小型發電站應用着這種動力機械，因為這種熱機體積小既靈巧又經濟，尤其在北方水利較差的地方適用。

借熱力學理論可以研究化學反應的進行，因此在化學工業方面也應用着熱力學的理論，而且在化學中已廣泛的應用了熱力學理論而成為專門的化學熱力學。

在冶金方面用熱力學中關於相平衡理論來掌握合金的化學成分和金相組織，因此在煉鋼方面必須應用到熱力學理論。此外由自由能的研究可以控制掌握爐中化學反應的進行。在冶礦部門中目前也廣泛應用熱力學的理論。

此外在熱學中近代有着顯著進步與發展的是關於很低溫度下物質性質的研究。在理論方面除了對宏觀的性質的研究外，還應用統計學方法來研究物質的微觀性質。在實際應用中首先是使各種氣體液化，例如液體空氣，液體氧氣等，這些在工業上都有重要的應用。關於物質在低溫下具有的特殊性質，如超導性超流動性等目前還是在研究階段，不過可以想見不久的將來我們也必然可以把它們應用到生產實際中去的。低溫物理學還是比較年青的一門科學，但是它的

發展将是不可限量的。

以上所举的一些热学在生产技术中的应用，这只不过是一些例子。事实上各工业部門中或多或少的都有有关热学的知識，这里不能一一备载，总之对热学方面的研究在社会主义建設中是有着相当的作用和偉大的意义的。

第一章 理想气体

1.1 气体的状态参量

在物質的气体、液体和固体的三种聚集形态中,气体的性質較為簡單。因此,我們研究分子物理学,可以先从气体开始。

对于气体的状态,常用質量、体积、压强和温度这四个量来表示:一定質量的气体在一定容积的容器里,如果气体的各部分都有同一温度和同一压强,我們就說这个气体有一定的状态。这四个表示气体状态的量,就称为气体的状态参量。对于气体的体积、压强和温度的概念,簡單地先叙述一下:

气体具有充滿容器內空間的性質,我們所指一定量气体的体积,是气体分子所能达到的空間,就是容器的容积,因此,气体的体积当然和气体分子本身体积的总和是完全不同的。

气体分子是不停地在运动着,經常和器壁發生碰撞,根据統計意义,就可以推出碰撞的宏观表量,以确定器壁單位面积上所受气体的压强。

温度的概念是比較复杂,最初起源于我們对物体底冷热程度的感觉,但是它的本質和分子运动有密切的关系,以后当作进一步的分析。

1.2 理想气体的实验定律

对于气体的状态变化,从实验結果,得出下列几个定律:

(1)玻意耳-馬略特定律 在十七世紀中,玻意耳(1626—91)和馬略特(1620—84)各自独立地研究了气体的壓縮和膨脹,得到了結論:当一定質量底密閉气体在温度不变时,它的压强和体积的乘积等

于恒量。用数式表示,得

$$PV = \text{恒量} \cdots \cdots (1)$$

(M 和 t 是一定的)

式中恒量数值的大小,依照气体的质量和温度而决定。用图示时,对于每个一定温度,在 $P-V$ 图上得到一条等轴双曲线(圖 1—1)。因为表示玻意耳-馬略特定律的曲线是属于定温的,所以这种曲线叫做等温线。实际上,在平面中除 P 的纵坐标和 V 的横坐标外,应有垂直于 $P-V$ 平面的温度 t 坐标轴,每条等温线就不可能绘在一个平面里。但为便利计,我们常常采用各条等温线在 $P-V$ 面中的投影线来表示,这样得出的许多等温线就叫做等温线族。每一条等温线所表示的压强 P 和体积 V 的关系,对于线上的每一点是处于热平衡的状态中。但当气体膨胀或受压缩时,温度都要有变化,如圖 1—2 的虚曲线。因此,要维持温度不变,那末从一个状态变到另一个状态,在过程中不论膨胀或压缩都需要缓慢地进行,让气体和周围物体得到热平衡。于是这种维持热平衡的过程,就叫做等温过程。

(2) 盖·吕萨克定律 盖·吕萨克 (Gay-Lussac 1802) 研究了一定量密闭气体在压强不变的情况,就是等压过程中,它的体积和温度变化的关系,得出结论为:一定质量底气体在压强保持不变时,它的体积随着温度作直线的变化。如果气体在 0°C 时的体积为 V_0 ,那末在 $t^\circ\text{C}$ 时的体积 V 为:

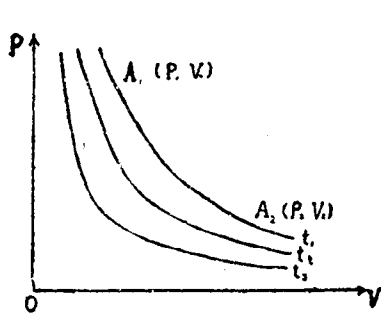


圖 1—1

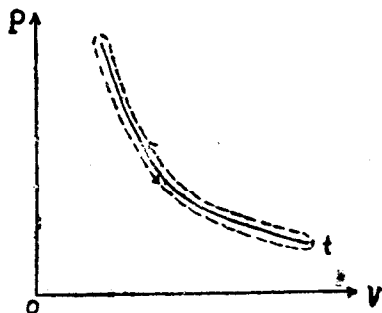


圖 1—2

$$V = V_0(1 + \alpha_v t) \dots\dots\dots (2)$$

式中 α_v 为压强不变时气体膨胀的体积系数。 α_v 的定义, 可按 (2) 式写成

$$\alpha_v = \frac{V - V_0}{V_0 t} \dots\dots\dots (2a)$$

α_v 的数值, 根据实验的测定, 知道对于一切气体, 都近似地等于 $1/273 = 0.00366 [^\circ\text{C}]^{-1}$, 更精确的平均数值是 $1/273.165$ 。

如果在 $V-t$ 平面图上, 画出每一个等压过程中所得体积和温度变化的关系, 必为平衡状态的各点所连成的一组直线 (图 1-3)。把这些直线延长, 必相交于 t 轴上的 k 点, 相当于

$$t = -\frac{1}{\alpha_v} = -273.16^\circ\text{C}.$$

从这里, 开耳芬 (Kelvin) 定出绝对温标, 分度法和摄氏温标相同, 而以摄氏零度下 273.16°C 为绝对零度。因此, 绝对温度 T 和摄氏温度 t 的关系, 可以近似地定为

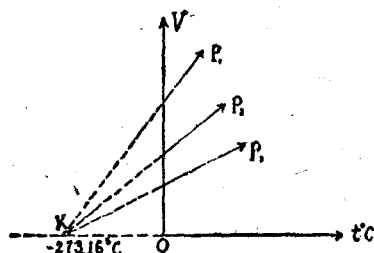


图 1-3

$$T = 273 + t \dots\dots\dots (3)$$

盖·吕萨克定律用绝对温度表示时, 可以写成

$$V = \frac{V_0}{273} T, \text{ 或 } V = V_0 \alpha_v T, \text{ 或 } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \dots\dots\dots (4)$$

就是气体在等压时, 它的体积和绝对温度成正比。

(3) 查理定律 查理 (Charles, 1789) 独立地研究了一定量密闭气体在等容过程中, 它的压强和温度变化的关系, 得出定律为: 一定质量底气体在体积保持不变时, 它的压强随着温度作直线的变化。 如果气体在 0°C 时的压强为 P_0 , 那末在 $t^\circ\text{C}$ 时的压强 P 为:

$$P = P_0(1 + \alpha_p t) \dots\dots\dots (5)$$

式中 α_p 为体积不变时气体的压强系数, 可把上式改写为