

中学生课外读物丛书

物 理 世 界

能 胀 能 缩 话 气 体

张甫楠 编

上海科学技术出版社

中学生课外读物丛书

物理世界

能胀能缩话气体

张甫楠 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江苏溧水印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.875 字数 102,000

1999年3月第1版 1999年3月第1次印刷

印数:1—5,700

ISBN7-5323-1645-9/G·270

定价: 1.55元

编辑出版说明

本《丛书》是一套为广大中学生提供的课外读物、第一批先编辑出版数学、物理、化学三门学科的分册。目的是为了引导学生开发思维，拓广知识视野，充实数、理、化各门学科本身的知识及这些知识在实际中的应用。但所涉及的基本知识不超过全日制中学数、理、化教学大纲所规定的范围。

本《丛书》的特点是知识性与趣味性相结合。注意揭示数、理、化知识本身内在的联系与规律；重视联系实际应用，联系邻近学科，使学生学到的知识能融会贯通；同时适当介绍学科领域里的新进展，以帮助学生开阔眼界。

本《丛书》的体例不拘泥于章节编排，而以专题篇目的面貌出现。各篇内容既有相对联系的系统性，又有相对的独立性，既体现生动活泼，又注意科学严谨。适合于广大初、高中学生阅读。

在组织编写本《丛书》的过程中得到上海市教育局教研室有关同志的热忱指教和协助，在此表示衷心致谢。

由于编写出版时间仓促，《丛书》中的缺点及不当之处在所难免，欢迎广大读者提出批评指正。

编者的话

为了帮助学生提高学习物理的兴趣与学习水平，充实课余生活，增长知识，培养能力，我们编写了本书，供高中学生课外阅读。

本书的内容是论述气体的性质，用一个命题讨论一个问题的方式，对有关物理现象、概念、规律中的要点，容易弄错或混淆而需要特别注意的地方，联系实际，作较为详细的论述，提出了分析问题的思路和方法，并对典型例题进行剖析。此外，还适当介绍一些物理史料和有趣的小实验，每一部分后还附有“想与练”，可供读者检验自己掌握基本概念的程度和灵活应用知识的能力。

限于编者的水平，内容难免有不妥之处，我们诚恳地请读者提出宝贵的意见。

编者

一九八八年十一月

目 录

一、能胀能缩话气体

二、气体状态的宏观描述

1. 宏观和微观.....[4]
2. 状态和过程.....[5]
3. 如何确定气体的压强.....[8]
4. 什么条件下气体分子的体积可以忽略不计.....[13]
5. 温度和温度计的简史.....[14]
- 想与练(二)[19]

三、气体实验定律和理想气体状态方程

1. 1升+2升=?升[21]
2. 打气和抽气.....[24]
3. 气压计趣话.....[29]
4. 钢筒内的气体会不会用完.....[32]
5. 怎样判断各种不同情况下水银柱的移动方向.....[36]
6. 潜艇的浮浮.....[42]
7. 人从深水中浮起时应该注意些什么.....[46]
8. 一端封闭的玻璃管竖直浮在水中的平衡.....[48]
9. 气体的压强系数和体胀系数.....[51]
10. 测量低温的温度计.....[52]
- 想与练(三)[54]

四、气体的密度和密度方程

1. 标准状态下气体的密度.....[57]

2. 任意状态下气体的密度.....	[58]
3. 气体的密度方程.....	[58]
想与练(四)	[66]

五、气体状态变化的图象

1. 气体状态的图象.....	[67]
2. 气体状态变化过程的图象.....	[69]
想与练(五)	[77]

六、理想气体的内能变化

1. 热能和内能有没有区别.....	[80]
2. 热力学第一定律的应用.....	[81]
3. 气体的比热容.....	[88]
想与练(六)	[89]

七、用统计方法研究大量气体分子的运动

1. 统计规律性.....	[91]
2. 气体压强的微观描述.....	[93]
3. 气体温度的微观描述.....	[99]
4. 气体实验定律的微观论证.....	[100]
5. 气体分子运动速度.....	[102]
想与练(七)	[106]

八、饱和汽、未饱和汽和过饱和汽

1. 酒精到哪里去了.....	[108]
2. 饱和汽和未饱和汽的相互转化.....	[110]
3. 汽和气.....	[113]
4. 为什么空气的绝对湿度可以用压强来表示.....	[114]
5. 冰汽水倒入玻璃杯时, 杯子外壁出现的水滴是不是汽水	[115]

想与练(八)	[117]
--------------	-------

九、小实验

1. 一个气球吹胀另一个气球	[119]
2. 能托住铁块的纸	[120]
3. 啤酒瓶吃鸡蛋	[121]
4. 水汽变雾	[121]
5. 测定最大静摩擦力	[122]
6. 测量教室内空气的质量	[123]

十、解题范例

想与练(十)	[135]
--------------	-------

参考答案

能胀能缩话气体

五光十色的气球是孩子们喜爱的玩物，这些形状各异的气球内充满气体。由于气体的流动性，所以它没有一定的形状，其形状随容器而定。而且，只要气球的橡皮膜不破，瘪了又可吹大。由克拉珀龙方程可得出气体对器壁的压强：

$$p = \frac{m}{M} \cdot \frac{RT}{V} \cdot$$

改变气体的体积或温度，可以改变气体的压强。但是，即使不改变气体的体积和温度，也很容易调节气体的压强，因为气体的压强随着它的质量的改变而改变。改变密闭的容器中气体的质量，也可以改变压强，例如，给轮胎打气，或从轮胎里放出一部分气体，它的压强就增大或减小。

用压缩泵或压缩机可以压缩气体。特别是在大气压下，气体比液体和固体更容易压缩。压强不大的变化就很明显地改变气体的体积，反之，体积的变化也能使压强改变。当然，气体的初始体积不同，改变相同的体积，

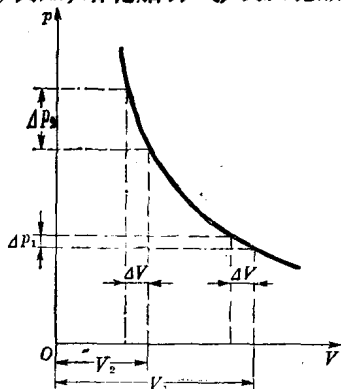


图 1-1

它的压强的变化量不同。例如，从图 1-1 所示的等温线上可

以看到，当气体的初始体积 V_1 较大时，体积变化 ΔV 产生的压强变化 Δp_1 很小。但是，如果气体的初始体积较小，那么同样的体积变化量 ΔV 引起的压强变化量 Δp_2 却很大。

因为气体的压缩性较大，可以把大量的气体压缩在瓶中，这对于保存、运输和使用都是很方便的。

当温度升高时，气体的压强和体积都显著地增大，气体的压强系数和体胀系数要比液体和固体大得多。气体虽然很轻（它的密度很小），但质量很小的气体却可以产生比较大的压强，这是很重要的一个特性。

气体在工程技术中的应用是广泛的，下面介绍几个重要的应用。

气体——缓冲器

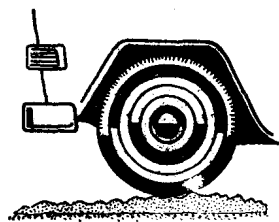


图 1-2

气体很轻，可压缩，又可以调节压强，这就可以把气体当作一个最完善的缓冲器。

汽车和自行车轮胎的作用就是这样的。当车轮碰到路面上凸起的地方时，轮胎里的空气被压缩，从而显著地减轻了轮轴的振动（如图

1-2所示）。假如轮胎是硬的，那么轮轴就要向上跳。

气体——发动机的工作物质

气体的可压缩性跟气体压强、体积、温度有明显的关系，使气体成为发动机和热机中最方便的工作物质。

在以压缩气体，特别是以压缩空气做功的发动机中，由于气体压缩性很强，气体（空气）几乎可以等压膨胀做功。利用压缩空气可以打开公共汽车、电车的门，可以使火车的空气制动器的活塞运动，可以使打桩用的气锤和其它气动工具运

动。

在宇宙飞船上如果装上以压缩气体氦气工作的小型喷气发动机,可以帮助飞船定向。宇航员背上压缩氧气筒,不仅可以供给呼吸用,还可以用作在飞船外行走时的动力(向某一方向喷出气体,人就将在反方向运动)。

在汽车、飞机上的内燃机和喷气发动机中,利用高温气体作为使活塞、轮机或火箭运动的工作物质。当混合燃料(例如汽油蒸汽和空气)在气缸中燃烧时,温度急剧升高,对活塞的压力增大,从而气体膨胀,在活塞的工作冲程中做功。

发动机中的工作物质只能利用气体,因为将液体或固体加热到与气体同样的温度,只能使活塞有很小的移动。

枪炮实质上也是热机。工作物质仍是气体——炸药燃烧的产物。气体的压力把子弹从枪筒或炮弹从炮口推出,这个力做的功是巨大的,因而子弹或炮弹射出的速度很大。

〔二〕

气体状态的宏观描述

1

宏观和微观

在物理学中经常使用“宏观”和“微观”这两个词，例如“宏观物体”、“宏观表现”、“宏观描述”、“宏观量”、“微观粒子”、“微观模型”、“微观描述”、“微观量”等等。这些名词都有其特定的含意，而不能单纯地从字面上来理解为从大处和小处看，或者从整体和局部看，因为大家知道大和小仅仅是相对而言的。

在物理学中，宏观物体和微观粒子在线度方面一般是以分子的直径(数量级是 10^{-10} 米)为分界的。宏观物体的线度远大于分子的直径，它是由大量分子组成。这些物体的运动或表现出来的各种现象都叫做宏观现象。宏观现象不仅仅指在力学中学习过的物体的各种运动，而且包括肉眼所看不到的电磁波的传播，等等。它的特点是不涉及波粒二象性的问题，都可用经典物理学来研究。

微观粒子一般是指空间线度小于分子直径的粒子，它们是分子、原子、电子和各种基本粒子。微观粒子在极微小的空间范围内的运动、或表现出来的各种现象叫做微观现象，它的特点是一切运动着的微观粒子都具有波粒二象性。

描述宏观现象的物理量叫做“宏观量”，描述微观现象的

物理量叫做“微观量”。

在研究热现象和物质三态的热学性质时，“宏观量”和“微观量”又有其特定的含意。我们常把反映事物整体性质的物理量称之为“宏观量”，例如某一容器内气体的压强、体积、温度等。这些物理量一般都是可以用实验来直接测量的。另外，我们把组成这一整体的每个分子在运动中的一些物理量叫做“微观量”，例如这个容器中单个分子的运动速率、动能、平均自由程等等。

上述宏观量和微观量之间必定存在着某种内在的联系，因为这两者只是在描述同一个物理现象时从两个不同角度去观察、测量和分析而已。因此，我们还常常可以用微观本质去解释宏观现象（这就叫做微观解释）或者寻求相当的微观量来表述宏观量。这将使我们对宏观现象中的规律，认识和理解得更为深刻。因此，在研究热现象时，可同时采用宏观描述的方法（即热力学方法）和微观描述的方法（即统计力学方法）。在本书第七部分将对统计力学方法作一些粗浅的介绍。

2 状态和过程

“状态”是指物质系统所处的状况，“过程”是指物质系统状态变化的经过。用来描述状态的物理量叫做“状态量”，用来描述状态变化过程的物理量叫做“过程量”。我们在研究一个系统的某种性质或这个系统发生某种过程的规律时，首先一个问题就是要选择适当的物理量来描述系统的状态。确定系统状态的量叫做“状态参量”。例如，我们在力学中研究的是物体的机械运动，即物体在空间的位置随时间而变化。我

们用来描述物体状态的量便是物体在空间的位置和它运动的速度。所以,位置和速度是物体的力学参量,力学中研究物体体系的状态只须用力学参量来确定。有时把这样的物体体系叫做力学系统。

能量是一个“状态量”,而功却是一个“过程量”。功反映了物体间能量转化的过程,也是能量转化的量度。

温度和热量这两个物理量常常容易混淆。其实,温度是用来表示物体冷热程度的物理量,从微观角度看,温度是物体分子平均平动动能的标志,它是一个“状态量”。热量却是一个“过程量”。当两个温度不同的物体相互接触时就要发生热传递。在热传递过程中,内能从高温物体传递给低温物体,而热量就是热传递过程中物体间内能转移的量度,是过程量。因此,离开了过程(物体升温降温过程、物态变化过程、燃料燃烧过程等等)讲热量是没有意义的。

在热力学中,我们所研究的是物质的热现象和性质。我们也必须选择相应的参量来描述所研究的物质系统的状态。物质的热现象和性质跟物质的微观结构有着紧密的联系。任何物体都是由分子、原子组成的,而物质的热学性质就是物体内分子运动的表现。然而在热力学中,我们主要是研究物体在平衡态的性质。研究时,可不必牵涉到物体的微观结构,而用几个宏观参量来描述物体的状态,这样的物体体系叫做热力学系统。为了研究热力学系统,先让我们了解热力学平衡态这个概念。

一个系统处在不变的外界条件下时,经过一定时间后,系统将达到一个宏观性质不随时间变化的状态,这样的状态就是热力学平衡状态。达到平衡态的系统,将长久地保持着这个状态,只有受到外界的作用时,平衡态才会受到破坏。应该

注意，热力学平衡态是热运动的一种特殊形式。处于平衡态的系统，它们的分子和原子仍处在不断地运动中，但分子和原子运动的平均效果并不随时间而改变。这种不变的平均效果在宏观上就表现为系统达到了平衡态。因此，热力学中的平衡态是一种动态平衡，它和力学中的平衡是有区别的。

现在，我们从几个具体例子来说明描述热力学系统平衡态的方法。

假定我们所研究的系统是一定质量的某种气体。如果将这些气体封闭于一定容积的容器中，气体对器壁总要产生压强，而且气体要永远充满所占的容器。如果对气体加热，则可发现，气体对容器的压强增加了。反之，若将此气体在一定压强下加热，则气体的体积将会膨胀。因此，气体的压强和体积都可以独立地变化，我们便需要用这两个参量来描述气体的状态。此外，温度是研究热现象中离不开的物理量，也是气体的一个状态参量。所以对于一定质量的某种气体来说，所谓平衡态是指气体内部有相同的温度、压强和密度，并且在不受外界影响的条件下，气体的温度、压强和密度（或体积）将保持不变，这时我们说气体的状态就确定了。所以温度、压强、体积这几个物理量就叫做气体的状态参量。

如果外界条件改变并对气体发生了影响，例如将压缩空气筒跟另一个容器连接，这时气体的状态就会发生变化，气体将从压缩空气筒流向容器，同时温度和压强也要变化，原来的平衡态被破坏成为非平衡态。非平衡态要自发地趋向平衡，经过一段时间后，当筒内和容器内空气分布均匀，且温度、压强又处处相同时，又达到了跟变化后的外界条件相适应的稳定的热力学平衡态。

气体由一个平衡态到另一个平衡态的变化过程中，我们

可以认为气体经历了一连串过渡性的平衡态，即刚达到平衡态，由于外界的影响使平衡破坏，但很快达到新的平衡态；又被破坏，再重新达到平衡，如此往复。这样，我们就认为整个过程中的每一个状态都是平衡态。所以，我们以后要讨论的有关气体状态问题都是指平衡态。

实验证明，气体的三个状态参量之间有着密切的联系。其中一个参量发生了变化，必然会引起另一个或另两个参量的变化，从而改变了气体的状态。如果在三个参量中有一个参量不变，其它两个参量发生变化，那么变化的过程是唯一的。例如，温度不变而压强跟体积发生变化，这个过程一定是等温过程。体积不变而压强跟温度发生变化，这个过程一定是等容过程。压强不变而体积跟温度发生变化，这个过程一定是等压过程。如果三个参量都发生变化，那么变化的过程可以是多种多样的，即所经过的过渡平衡态可以不同而达到同样的终状态。

3 如何确定气体的压强

在一定状态下气体总是平衡态，即内部压强处处相同。为了确定气体的压强，常用的方法是取跟气体接触的分界面，根据平衡条件来求。如果分界面是固体，平衡条件必须是两侧的压力相等；如果分界面是液体，则平衡时也可根据两侧的压力相等来求。具体分析时还常要用到液体内部压强的一些规律：液体内部向各个方向都有压强；压强跟深度成正比；在同一深度，各个方向压强都相等，或在同一水平面处压强都相等。下面以一些经常遇到的情况为例来说明如何确定气体的

压强。

例 1 一端开口的玻璃管中有一小段水银柱把气体封在闭端如图 2-1 所示。设外界大气压强为 p_0 ，水银柱的高度为 h ，求图 2-1 中各种情况下气体的压强 p_1 、 p_2 、 p_3 和 p_4 。

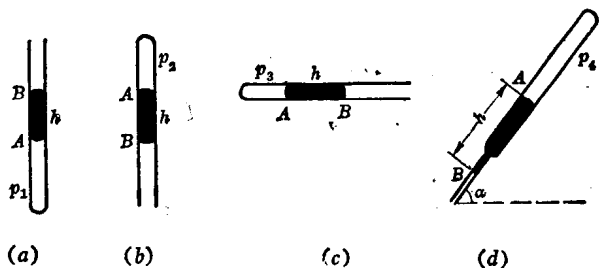


图 2-1

解 选择跟气体和大气接触的液片 A 和 B。

在图 2-1(a) 中，根据平衡条件可知：

B 处压强 $p_B = p_0$ ，A 处压强 $p_A = p_B + \rho gh$ ，气体压强 $p_1 = p_A$ 。所以 $p_1 = p_0 + \rho gh$ 。

在图 2-1(b) 中，根据平衡条件可知：

B 处压强 $p_B = p_0$ ，A 处压强 $p_A + \rho gh = p_B$ ，气体压强 $p_2 = p_A$ 。所以 $p_2 = p_0 - \rho gh$ 。

在图 2-1(c) 中，根据平衡条件可知：

B 处压强 $p_B = p_0$ ，A 处压强 $p_A = p_B$ ，气体压强 $p_3 = p_A$ 。所以 $p_3 = p_0$ 。

在图 2-1(d) 中，根据平衡条件可知：

B 处压强 $p_B = p_0$ ，A 处压强 $p_A = p_B - \rho gh$ [液体压强只跟深度(竖直高度)有关，跟两段水银柱截面不同无关]，气体压强 $p_4 = p_A$ ，所以 $p_4 = p_0 - \rho gh \sin \alpha$ 。

例 2 一端封闭开口向下的 U 形管竖直放置如图 2-2。

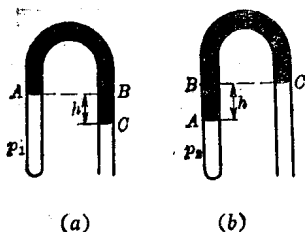


图 2-2

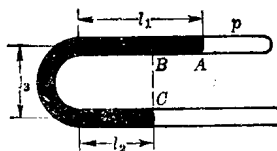


图 2-3

设大气压强为 p_0 ，两管水银柱高度差为 h ，求封闭在管内的气体的压强 p_1 和 p_2 。

解 取液片 A、B 和 C。

在图 2-2(a) 中，根据平衡条件可知：

$$p_1 = p_A, \quad p_A = p_B, \quad p_B + \rho gh = p_C, \quad p_C = p_0.$$

所以 $p_1 = p_0 - \rho gh$ 。

有人认为开端水银柱高度大于闭端水银柱高度是由于闭端气体压强大于外界大气压强，所以水银才从左管流向右管直到水银柱的高度差产生的压强等于气体压强跟大气压强之差为止，因而得出 $p_1 = p_0 + \rho gh$ 的结论。这是不理解气体在一定状态下总是处于平衡态，因而必须根据平衡条件来确定气体在某一平衡态时的压强。

在图 2-2(b) 中，根据平衡条件可知：

$$p_2 = p_A, \quad p_B + \rho gh = p_A, \quad p_B = p_C, \quad p_C = p_0.$$

所以 $p_2 = p_0 + \rho gh$ 。

例 3 一端封闭的 U 形管竖直放置，各段水银柱长度如图 2-3 所示。设大气压强为 p_0 ，求闭端空气柱的压强 p 。

解 取液片 A、B 和 C，根据平衡条件可知：

$$p = p_A, \quad p_A = p_B, \quad p_B + \rho gl_3 = p_C, \quad p_C = p_0.$$

所以 $p = p_0 - \rho gl_3$ 。