



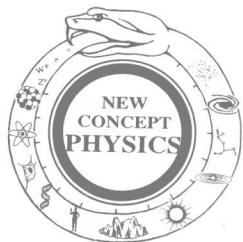
新概念物理 题解

(下册)

赵凯华 罗蔚茵 王笑君



高等教育出版社



新概念物理

题解

(下册)

赵凯华 罗蔚茵 王笑君



高等教育出版社

内容简介

赵凯华主编的《新概念物理教程》系列教材提供了丰富的思考题和习题资源,而教师选择和布置习题、思考题是一件很费时的事。本书为这套教材的所有思考题和习题作了解答,为教师节省了时间和精力。学生也可以在自己思考的基础上,与该题解作比较,找出差距,检验和深化所学知识。

本书上册包括力学和电磁学,下册包括热学、光学和量子物理。书中所有的思考题和习题均配有原题,既可作为与《新概念物理教程》相配套的教学参考书,也可以作为普通物理课程的习题集供高等院校理工科类的师生和社会读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

新概念物理题解. 下册 / 赵凯华, 罗蔚茵, 王笑君.
—北京: 高等教育出版社, 2009.6
ISBN 978-7-04-026275-9

I. 新… II. ①赵…②罗…③王… III. 物理学-高等学校-解题 IV. 04-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 090023 号

策划编辑 马天魁 责任编辑 王文颖 封面设计 张楠
责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京中科印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2009年6月第1版
印 张	25.5	印 次	2009年6月第1次印刷
字 数	400 000	定 价	29.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26275-00

前 言

学习物理不做习题是不行的,习题是巩固所学原理的必要环节。思考题则更能启发学生对所学内容进行深入的思考。学生通过习题和思考题可以检验自己是否真正掌握了所学的物理理论和概念,可以扩大知识面,巩固和深化所学的理论知识。《新概念物理教程》系列教材提供了丰富的思考题和习题资源,供不同的任课教师根据不同的教学要求选用。而教师选择和布置习题、思考题是一件很费时的事,他们需要先解出各题并进一步思考该题的训练意义,且从教学要求加以全面权衡。尤其是对新任课教师,需要花费他们很多精力。为此,我们编写了这套《新概念物理题解》,对各卷(除《光学》为第一版外,其余四卷均为第二版)的思考题和习题进行分析和解答,供教师参考。

然而我们却有一种担忧,这套《新概念物理题解》为那些学习不够自觉的学生提供了一份简便的照抄样本,这是我们不愿看到的。显然禁止学生购买和照抄解答是不可能的,重要的是教导他们正确地对待学习和做题。应该让他们知道,听课堂讲授是被动的学习,自学(包括预习和复习)与做习题、钻研思考题才是主动学习的环节,这对于掌握教学基本内容、巩固和深化所学的理论知识、提高学习能力,是不可缺少的。学生常反映,听了课都懂了,但是一拿到题就不会做。我们认为这是正常现象,若学生课后都能顺利地解出所有习题,习题的作用也就不大了。学生不能顺利解题,说明他们对相关的课程内容还没有较好地掌握,正要通过解题来检验和深化。学生通过自己的努力解出的难题往往终身难忘,收获是最大的。当然在自己思考的基础上与同学讨论,同样是有益的。也不排除学生参考一下习题解答,但一定要通过自己的思考,将自己的思路和困难与题解作比较,找出差距,仍不失为一种收获。最要不得的是简单地照抄题解以应付作业,从根本上说是害了自己。

公开出版这一套《新概念物理题解》,如何权衡利弊,作者和出版社都经过了长期的犹豫。我们希望出版这套题解,对教师和学生都起到积极作用。

这套《新概念物理题解》分上、下两册，各册内容和编写者如下：

上册	{	力学：赵凯华 罗蔚茵	下册	{	热学：赵凯华 罗蔚茵
		电磁学：赵凯华 陈熙谋			光学：赵凯华
					量子物理：赵凯华 王笑君

编者

下册目录

热 学

热学思考题解答	3
第一章 热学基本概念和物质聚集态	3
第二章 热平衡态的统计分布律	9
第三章 热力学第一定律	18
第四章 热力学第二定律	26
第五章 非平衡过程	35
热学习题解答	41
第一章 热学基本概念和物质聚集态	41
第二章 热平衡态的统计分布律	51
第三章 热力学第一定律	60
第四章 热力学第二定律	70
第五章 非平衡过程	83

光 学

光学思考题解答	97
第一章 光和光的传播	97
第二章 几何光学成像	100
第三章 干涉	108
第四章 衍射	119
第五章 变换光学与全息照相	139
第六章 偏振	150
第七章 光与物质的相互作用 光的量子性	171
光学习题解答	173
第一章 光和光的传播	173
第二章 几何光学成像	187
第三章 干涉	219
第四章 衍射	237
第五章 变换光学与全息照相	254
第六章 偏振	265
第七章 光与物质的相互作用 光的量子性	289

量子物理

量子物理思考题解答	299
第一章 实验基础与基本原理	299
第二章 双态系统	313
第三章 从一维系统到凝聚态物质	315
第四章 原子 分子	321
第五章 原子核 粒子	329
量子物理习题解答	335
第一章 实验基础与基本原理	335
第二章 双态系统	352
第三章 从一维系统到凝聚态物质	359
第四章 原子 分子	370
第五章 原子核 粒子	381
附录 A 线性代数	393

热学



热学思考题解答

第一章 热学基本概念和物质聚集态

1-1. 给物质同等的热量,一定使它提高同等的温度吗?给物质以热量,一定会使它的温度提高吗?

答:热量和温度是不同的概念。给物质以热量使其温度升高多少还与其热容量有关,同等的热量给其热容量小的物体,其温度将有较大的升高。

给物质以热量,不一定会升高它的温度,例如在冰的熔解或水的蒸发等相变过程中便是如此。

1-2. 对测温属性随温度变化的函数关系应有什么规定?必须作线性变化吗?必须是升函数吗?没有任何限制吗?

答:测温属性随温度变化的函数关系最好是线性的,至少在某一温区内如此。但这不总是可能的。在有一定非线性的情况下至少要求函数关系是单调的,不容在不同温度下测温属性取同一数值。例如因水在 4°C 上下有同样的体积,就不宜在此温区用水来作测温物质。

1-3. 日常温度计多用水银或酒精作测温物质,用水岂不更便宜?设想一下,如果有人用水来作温度计的测温物质,会产生什么问题?用水温度计测两盆凉水的温度时,若显示出水柱的高度一样,是否两盆水的温度一定相等?这违反热力学第零定律吗?

答:一定质量的水在 4°C 时体积最小,大于或小于此温度体积都有所膨胀。用水来作温度计的测温物质,则会出现不同温度下温度计读数一样的问题。用水温度计测两盆温度在 4°C 上下的凉水时,即使显示出水柱的高度一样,两盆水的温度却是不相等的。这并不违反热力学第零定律,该定律说:“在与外界影响隔绝的条件下,如果物体A、B分别与处于确定状态下的物体C达到热平衡,则物体A和B也是相互热平衡的。”在这里两盆凉水分别是物体A、B,水温度计是物体C。水温度计分别与两盆凉水达到热平衡时只是体积相等,但并不处于同一确定的热力学状态。

1-4. 用 $p_{\text{③}}$ 代表定体气体温度计测温泡在水的三相点时其中气体的压强值。有三个定体气体温度计:第一个用氧做测温物质, $p_{\text{③}}=200\text{ mmHg}$;第二个也用氧, $p_{\text{③}}=400\text{ mmHg}$;第三个用氢, $p_{\text{③}}=200\text{ mmHg}$ 。用这三个温度计测量同一对象时其中气体的压强值分别为 p_1 、 p_2 、 p_3 ,由它们所确定的温度待测值分别为 $T_1 = \frac{273.16\text{ K}}{200\text{ mmHg}} p_1$, $T_2 = \frac{273.16\text{ K}}{400\text{ mmHg}} p_2$, $T_3 = \frac{273.16\text{ K}}{200\text{ mmHg}} p_3$ 。试问

- (1) 你预计 T_1 、 T_2 、 T_3 三个数值都一样吗?
 (2) 两个氧温度计的数值 T_1 、 T_2 会一样吗? 若不同, 哪个更接近真值?
 (3) T_1 、 T_2 、 T_3 三个数值中哪个更接近真值?

答: (1) 对于实际气体, T_1 、 T_2 、 T_3 三个数值不会严格一样。

(2) 水的三相点时定体气体温度计内气体的摩尔体积

$$V^{\text{mol}} = \frac{RT_{\text{③}}}{p} = \begin{cases} \frac{8.31 \times 273.16}{200 \times 101325/760} \text{m}^3/\text{mol} = 8.513 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{mol}, & \text{第一支氧温度计} \\ \frac{8.31 \times 273.16}{400 \times 101325/760} \text{m}^3/\text{mol} = 4.257 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{mol}, & \text{第二支氧温度计} \\ \frac{8.31 \times 273.16}{200 \times 101325/760} \text{m}^3/\text{mol} = 8.513 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{mol}, & \text{氢温度计} \end{cases}$$

对于同种气体, 摩尔体积愈大的温度计测得的温度愈接近真值, 故 T_1 比 T_2 更接近真值。

(3) 氢比氧更接近于理想气体, 在相同摩尔体积下 T_3 比 T_1 更接近真值, T_3 是三个之中最接近真值的。

1-5. 在上题中两个氧温度计在三相点时气体的体积可以一样吗?

答: 如上题计算, 温度计 T_1 的摩尔体积比 T_2 大一倍, 若它所含气体的摩尔数少一半, 则两温度计内气体的体积一样。

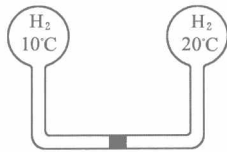
1-6. 载人橡皮艇在白天还是夜晚吃水深?

答: 夜晚温度低, 橡皮艇内气体密度大, 吃水深。

1-7. 节日向天空释放许多彩色氢气球, 这些气球最后的结局如何?

答: 随着氢气球升高, 外界压强减小, 气球膨胀。最后气球都爆破。

1-8. 如本题图, 两相同的玻璃泡用玻璃管连通, 中间有一水银滴作活塞。当两边所充气体的温度分别为 10°C 和 20°C 时水银滴平衡于玻璃管中央。现将两边的温度各提高 10°C , 水银滴会不会移动? 若动, 朝哪边动?



思考题 1-8

本题的结论与两边充的气体是否相同有无关系?
 若一边是混合气体呢?

答: 平衡时两侧压强皆为 $p = \frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V}$, 升温后

$$p_1 = \frac{T'_1 p}{T_1}, \quad p_2 = \frac{T'_2 p}{T_2}, \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T'_1 T_2}{T_1 T'_2} = \frac{293.15 \times 293.15}{283.15 \times 303.15} = 1.001 > 1,$$

故水银滴右移。

以上分析与两侧气体种类无关, 对混合气体也适用。

1-9. 在非相对论情形下(1.28)式可写成

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}.$$

若有重力场存在,此式成立吗?理想气体的压强公式成立吗?

答:书中4.2节推导出理想气体在垂直于 x 方向上的压强公式(1.27),将该式写成非相对论形式,则有

$$p_x = nm\overline{v_x^2}; \quad \text{同理有 } p_y = nm\overline{v_y^2}, \quad p_z = nm\overline{v_z^2}.$$

在此式的推导过程中只涉及穿过面元 ΔS 分子的瞬时动量,与重力场存在与否无关。而《新概念物理教程·力学》(第二版)第五章2.1节证明了,流体内的压强 p 总是各向同性的,与流体是否有加速度和重力场是否存在都没有关系(二者都属于高级无穷小效应)。故

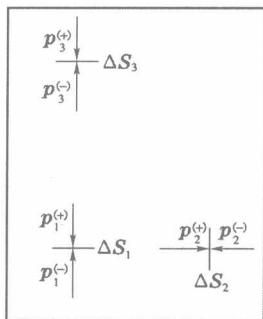
$$p = p_x = p_y = p_z \rightarrow \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}, \quad p = \frac{1}{3} nm\overline{v^2}.$$

有加速度和重力场时理想气体的压强公式仍成立。

1-10. 如本题图,在封闭容器内贮有一定气体,它处于热平衡态。

(1) 取一水平面元 ΔS_1 ,考虑重力场的作用,从上到下的动量流产生的压强 $p_1^{(+)}$ 和从下到上的动量流产生的压强 $p_1^{(-)}$ 相等吗?

(2) 在与 ΔS_1 同一水平面上取另一面元 ΔS_2 ,从左到右的动量流产生的压强 $p_2^{(+)}$ 和从右到左的动量流产生的压强 $p_2^{(-)}$ 与前面的 $p_1^{(+)}$ 、 $p_1^{(-)}$ 孰大孰小?



思考题1-10

(3) 在与 ΔS_1 、 ΔS_2 不同的高度上取水平面元 ΔS_3 ,试比较通过此面元从上到下的动量流产生的压强 $p_3^{(+)}$ 和从下到上的动量流产生的压强 $p_3^{(-)}$ 与 $p_1^{(+)}$ 、 $p_1^{(-)}$ 的关系,以及两处分子数密度 n_1 、 n_3 和平均动能 $\overline{\varepsilon_1}$ 、 $\overline{\varepsilon_3}$ 的大小。

答:(1) 由于流体中压强总是各向同性的(见上题), $p_1^{(+)} = p_1^{(-)} = p_1$ 。

(2) 由于流体中压强总是各向同性的和同一水平面上流体静力学压强相等,

$$p_1^{(+)} = p_1^{(-)} = p_2^{(+)} = p_2^{(-)}.$$

(3) $p_3^{(+)} = p_3^{(-)} = p_3 < p_1 = p_1^{(+)} = p_1^{(-)}$. 由于 $p = \frac{2}{3} n\overline{\varepsilon}$, $\varepsilon = \frac{1}{2} kT$,

热平衡时 $T_3 = T_1 \rightarrow \overline{\varepsilon_3} = \overline{\varepsilon_1} \rightarrow n_3 < n_1$.

1-11. 在推导理想气体的压强公式时为什么没考虑分子间的碰撞?

答:在平衡态下分子间的碰撞不改变速度分布,故而不影响压强公式。

1-12. 在推导理想气体的压强公式时有没有用到热平衡条件?

答:只用到速度分布各向同性,这是热平衡的条件。

1-13. 试证明道尔顿分压定律等效于道尔顿分体积定律, 即 $V = V_\alpha + V_\beta + \dots$, 其中 V 是混合气体的体积, V_α, V_β, \dots 是各组分的分体积。所谓某一组分的“分体积”, 是指混合气体中该组分单独存在, 而温度和压强与混合气体的温度和压强相同时所具有的体积。

答: 分压定律 $p = \sum_\alpha p_\alpha = \frac{2}{3} \sum_\alpha n_\alpha \bar{\varepsilon}_\alpha$, 其中 $n_\alpha = \frac{\nu_\alpha N_A}{V}$, $\bar{\varepsilon}_\alpha = \frac{3}{2} kT$, 所以 $p = \frac{N_A k T}{V} \sum_\alpha \nu_\alpha \rightarrow V = \frac{N_A k T}{p} \sum_\alpha \nu_\alpha = \frac{RT}{p} \sum_\alpha \nu_\alpha = \sum_\alpha V_\alpha$, 式中 $V_\alpha = \frac{\nu_\alpha RT}{p}$ 为 α 组分的分体积。

1-14. 在气象上“含湿度” d 定义为空气中水蒸气重量 W_v 与其中干燥空气重量 W_a 之比:

$$d = \frac{W_v}{W_a}$$

试证明水蒸气分压 p_v 与大气总压强 p 的关系为

$$p_v = \frac{pd}{0.623 + d}$$

这里 0.623 是水蒸气摩尔质量与干燥空气平均摩尔质量之比。

答: $\left. \begin{array}{l} p_v = n_v k T \\ p_a = n_a k T \end{array} \right\} \rightarrow \frac{p_a}{p_v} = \frac{n_a}{n_v}; d = \frac{W_v}{W_a} = \frac{n_v M_v^{\text{mol}}}{n_a M_a^{\text{mol}}} \rightarrow \frac{n_a}{n_v} = \frac{M_v^{\text{mol}}}{d M_a^{\text{mol}}}$

所以 $\frac{p_a}{p_v} = \frac{M_v^{\text{mol}}}{d M_a^{\text{mol}}} \rightarrow \frac{p_a}{p_v} + 1 = \frac{M_v^{\text{mol}}}{d M_a^{\text{mol}}} + 1 \rightarrow \frac{p}{p_v} = \frac{p_a + p_v}{p_v} = \frac{d M_a^{\text{mol}} + M_v^{\text{mol}}}{d M_a^{\text{mol}}}$,

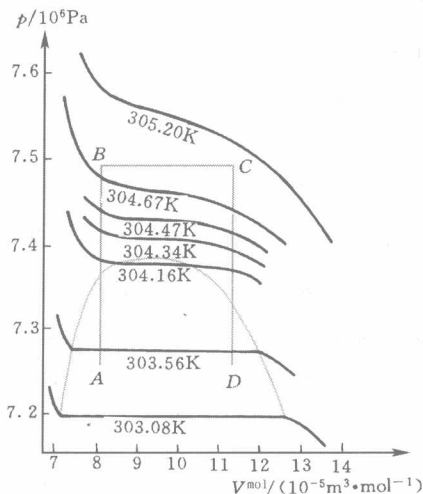
最后得到 $\frac{p_v}{p} = \frac{d M_a^{\text{mol}}}{M_v^{\text{mol}} + d M_a^{\text{mol}}} = \frac{d}{(M_v^{\text{mol}}/M_a^{\text{mol}}) + d} = \frac{d}{0.623 + d}$ 。

1-15. 本题图中给出一些 CO_2 在临界点附近的等温线。(1) $p = 7.4 \times 10^6 \text{ Pa}$, $V^{\text{mol}} = 11 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ 时其平衡温度为多少? 此时 CO_2 处于什么聚集态?

(2) 10^{-2} mol 的 CO_2 在 $T = 303.56 \text{ K}$, $V = 10 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ 的条件下压强为多少? 此时处于什么聚集态?

(3) 叙述一下, 当系统沿路径 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ 时相的变化情况。

(4) 在 p - T 图上画出 V^{mol} 分别为 $8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{mol}$, $10 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{mol}$ 和 $12 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{mol}$ 的等体线, 并指出图上不同区域属于何相。



思考题 1-15

(5) 在 $V^{\text{mol}}-T$ 图上画出 $p = 7.43 \times 10^6 \text{ Pa}$ 的等压线。

答: (1) 将 CO_2 状态标在右图上如 A 点所示, 该点刚好处在 $T=304.47\text{K}$ 等温线上, 温度高于临界点, 系统处于气态。

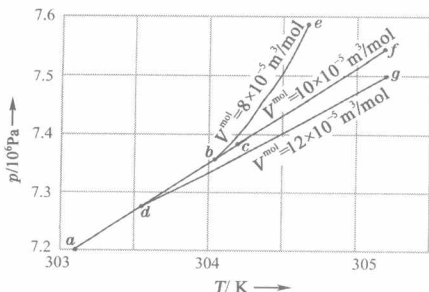
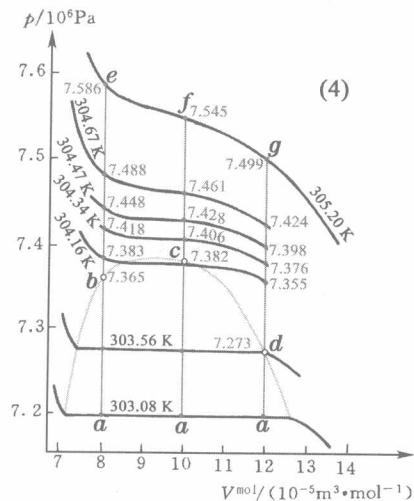
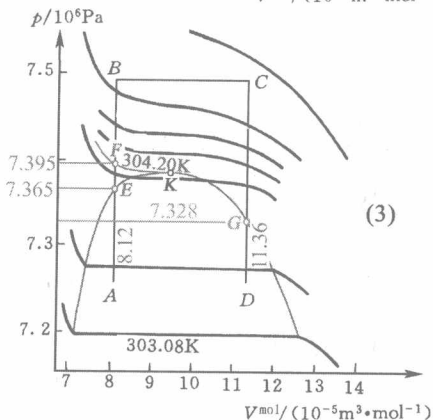
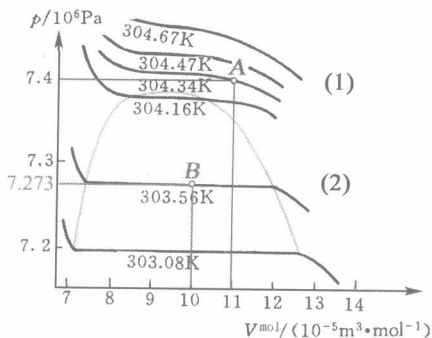
(2) 摩尔体积 $V^{\text{mol}} = 10 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / 10^{-2} \text{ mol} = 10 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$, 将 CO_2 状态标在右图上如 B 点所示, 压强 $p = 7.273 \times 10^6 \text{ Pa}$, 气液共存。

(3) 如右图所示, A 点处于气液共存态。定体升温升压向 B 点过渡时, 途经 E 点时, 气态比例减到 0, 全部液化。 $p_E = 7.365 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。

继续升温时, 系统要跨过临界等温线连续地过渡到气态。本题提供的相图中未画出临界等温线。从书上表 1-9 查出, CO_2 的临界温度 $T_K = 304.20\text{K}$, 画临界等温线如图, AB 与此等温线交于 F 点, 由图上读出 $p_F = 7.395 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。

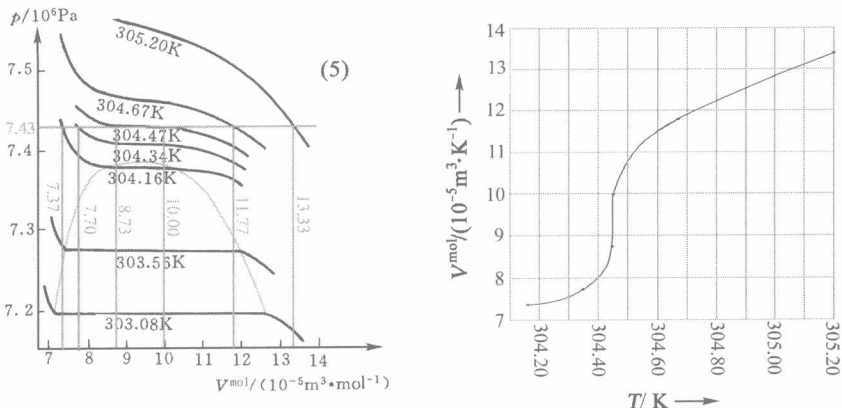
系统状态从 F 到 B (定体过程), 从 B 到 C (定压过程), 从 C 到 G (定体过程), 都处于气态。降温降压越过 G 点后, 进入气液共存区, 气态比例不断增大, 一直到 D 点。

(4) 分别作 $V^{\text{mol}} = 8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$ 、 $10 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$ 、 $12 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{mol}$ 的竖直线, 由它们与各等温线的交点读出相应的压强值, 如右图所示。据此作出三条 $p-V^{\text{mol}}$ 曲线如下图所示。在气



液共存区内三条曲线是重合的,出了气液共存区三条曲线分离。 $V^{\text{mol}}=8 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{mol}$ 的曲线 abe 在 b 点走出气液共存区进入液相,然后跨过临界等温线连续长入气相。 $V^{\text{mol}}=10 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{mol}$ 的曲线 acf 在 c 点走出气液共存区进入液相。 $V^{\text{mol}}=12 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{mol}$ 的曲线 adg 在 d 点走出气液共存区进入液相。

(5) 作 $p=7.43 \times 10^6 \text{Pa}$ 的等压线如左下图所示,从它与各等温线的交点读出相应的摩尔体积值,据此作 $V^{\text{mol}}-T$ 曲线如右下图所示。



1-16. 按本章例题5的方法,估算烧掉每一摩尔的甲烷(沼气,家用气体燃料的主要成分)所得到的热量。甲烷燃烧的化学反应式为



实验值为 190kcal/mol , 供比较。

答: 甲烷分子式为 CH_4 , 每个分子燃烧时用掉空气中 4 个氧原子, 按书上例题5的方法估算, 此化学反应获得能量 $4 \times 50 \text{kcal/mol} = 200 \text{kcal/mol}$. 接近实验值 190kcal/mol .

1-17. 按本章 6.2 节例题5的方法, 估算每克葡萄糖(一种典型的糖)的含热量。葡萄糖氧化的化学反应式为



实验值为 3.81kcal/g , 供比较。

答: 葡萄糖分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 每个分子燃烧时用掉空气中 12 个氧原子, 按书上例题5的方法估算, 此化学反应获得能量 $12 \times 50 \text{kcal/mol} = 600 \text{kcal/mol}$. 葡萄糖的分子量为 180g/mol , $(600 \text{kcal/mol}) / (180 \text{g/mol}) = 3.33 \text{kcal/g}$, 接近实验值 3.81kcal/g .

第二章 热平衡态的统计分布律

2-1. 随机变量连续时,为什么必须引入概率密度和分布函数的概念?为什么我们不能说分子速率 v = 某特定值(譬如 300 m/s) 的概率是多少?

答: 如果把海水看成连续介质的话,其密度定义为 $\rho = \Delta m / \Delta V$, 式中 Δm 是体积元 ΔV 里海水的质量。当体积元 ΔV 缩成一点时,其质量 Δm 也趋于 0。任何被看成连续分布的变量的“密度”都是如此,分子速率概率在相空间的分布被看成是连续的,其概率密度(即分布函数)亦如此,相空间里的一点,即分子速率取某特定值的概率为 0。

2-2. $f(\mathbf{v})$ 是分子速度分布函数,下列表达式的涵义是什么?

- (1) $f(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$, (2) $Nf(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$, (3) $f(v_x) dv_x$,
(4) $Nf(v_x) dv_x$, (5) $\int_{v_0}^{\infty} f(v_y) dv_y$, (6) $N \int_{-\infty}^0 f(v_z) dv_z$.

答: (1) $f(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$ 是分子速度 \mathbf{v} 取值在 \mathbf{v} 到 $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$ 范围里的概率;

(2) $Nf(\mathbf{v}) d\mathbf{v}$ 是速度 \mathbf{v} 取值在 \mathbf{v} 到 $\mathbf{v} + d\mathbf{v}$ 范围里的分子数;

(3) $f(v_x) dv_x$ 是分子速度分量 v_x 取值在 v_x 到 $v_x + dv_x$ 区间里的概率;

(4) $Nf(v_x) dv_x$ 是速度分量 v_x 取值在 v_x 到 $v_x + dv_x$ 区间里的分子数;

(5) $\int_{v_0}^{\infty} f(v_y) dv_y$ 是分子速度分量 $v_y > v_0$ 的概率;

(6) $N \int_{-\infty}^0 f(v_z) dv_z$ 是分子速度分量 $v_z < 0$ 的概率。

2-3. 如果某气体的速度分布各向同性,即 $f(\mathbf{v}) = f(v)$, 其中 $v = |\mathbf{v}|$, 而 $F(v) \equiv 4\pi v^2 f(v)$, 下列表达式的涵义是什么?

- (1) $F(v) dv$, (2) $NF(v) dv$, (3) $\int_0^{v_0} F(v) dv$,
(4) $N \int_{v_0}^{\infty} F(v) dv$, (5) $\int_0^{\infty} v F(v) dv$, (6) $\int_0^{\infty} v^2 F(v) dv$.

答: (1) $F(v) dv$ 是分子速率 v 取值在 v 到 $v + dv$ 区间里的概率;

(2) $NF(v) dv$ 是速率 v 取值在 v 到 $v + dv$ 区间里的分子数;

(3) $\int_0^{v_0} F(v) dv$ 是分子速率 $v < v_0$ 的概率;

(4) $N \int_{v_0}^{\infty} F(v) dv$ 是速率 $v > v_0$ 的分子数;

(5) $\int_0^{\infty} v F(v) dv$ 是速率的平均值;

(6) $\int_0^{\infty} v^2 F(v) dv$ 是平均速率平方的平均值。

2-4. 如果某气体中所有分子的速率 v 都一样,从而分子的平均动

能 $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} m v^2$, 你能根据公式 $\bar{\varepsilon} = \frac{3}{2} k T$ 说它的温度 $T = \frac{2\bar{\varepsilon}}{3k} = \frac{m v^2}{3k}$ 吗?

答: 只有处于热平衡状态下的宏观系统才有温度的概念, 经典气体在热平衡状态下的分子速率分布是麦克斯韦分布, 在任何非平衡分布下的系统都不存在“温度”的概念。所有分子的速率 v 都一样的分布不是平衡分布, 谈不上“温度”。

2-5. 试从分子碰撞的角度来分析, 所有分子的速率长期保持一样是不可能的。

答: 若假定所有分子是同一种完全弹性球, 它们碰撞时只作能量、动量交换, 似乎不改变分子的单一速率分布。然而气体必然装在容器中, 有一定温度的容器中分子是有一定速率分布的, 气体分子与器壁分子碰撞时速率将改变。再者, 对于多原子分子, 碰撞时平动动能还会向内部自由度(转动、振动)转移, 平动速率也会改变。所以, 分子速率长期保持一样是不可能的。

2-6. 两容器分别贮有氧气和氢气, 如果压强、体积和温度都相同, 它们分子速度的分布是否相同?

答: 如果压强、体积和温度都相同, 则总分子数 N 、分子数密度 n 和分子平均平动动能 $\bar{\varepsilon} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$ 相同, 从而 $\bar{v}^2 \propto \frac{1}{m}$, 分子质量 m 不同的气体(如氧和氢)分子速度分布不可能相同。

2-7. 两容器 A 和 B 贮有同种气体, 且温度相同, 但压强不同, 它们分子的速度分布是否相同? 若压强也相同但体积不同呢?

答: 同种气体温度相同而压强不同, 表明其总分子数 N 和分子数密度 n 不同; 若压强也相同但体积不同, 则 n 相同但 N 不同。一种气体分子的速度分布只与温度有关, 与 N 、 n 无关, 在所有上述情况里分子的速度分布都是相同的。

2-8. 氢气瓶置于恒温器中, 徐徐通入一些氧气, 一些速率大(如速率大于某一数值 v_0) 的氢分子具备与氧反应的条件而化合成水, 瓶内剩余的氢分子的速率分布有何改变?

答: 在化学反应中一部分动能较大的氢分子消失了, 这意味着氢分子的平均平动动能降低, 或者说温度降低。在恒温的条件下, 有外界的能量补充, 使剩余的氢气恢复到原来的温度和分子的平均动能, 使其分子的速率分布保持不变。

2-9. 我们看到, 对于麦克斯韦速率分布,

$$v_{\text{rms}} > \bar{v},$$

对于其它速率分布结论如何? 试计算这样一种分布的 v 方均根和 \bar{v} : 一半分