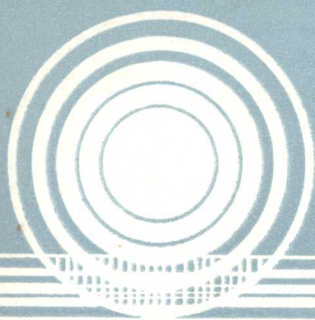


中学生学物理

分子物理和热学

郑玉林 来文轩 编 著
于雅丽 魏 丽



大连出版社

编者的话 会委编《语文教学自读少查》

分子物理和热学

主编 郑玉林 来文轩 于雅丽 魏丽

郑玉林 来文轩 编著
于雅丽 魏丽

本书是根据《中学物理教学大纲》的要求，结合当前中学物理教学改革的实际，在充分吸收国内外优秀教材的基础上，经过反复修改，精心编撰而成的。本书可作为高中物理教学用书，也可作为教师参考书。

本书共分三章，章内分节，各节下设例题、习题、思考题、实验题等。本书在编写过程中，力求做到概念清晰、重点突出、循序渐进、由浅入深、由易到难、由简到繁、由具体到抽象、由定性到定量、由现象到本质、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍。

本书在编写过程中，力求做到概念清晰、重点突出、循序渐进、由浅入深、由易到难、由简到繁、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍。

本书在编写过程中，力求做到概念清晰、重点突出、循序渐进、由浅入深、由易到难、由简到繁、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍。

本书在编写过程中，力求做到概念清晰、重点突出、循序渐进、由浅入深、由易到难、由简到繁、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍、由具体到抽象、由感性到理性、由个别到一般、由特殊到普遍。

大连出版社

1.85元

《青少年自学文库》编委会

主 编：崔孟明
副主编：宋志唐 石绍珩 李勃梁
编 委：庄世群 周去难 胡祖德 曹居东
赵学智 赵仲国 李维福

李维福
林玉亭
林玉亭
林玉亭

分子物理和热学

郑玉林 来文轩
于雅丽 魏 丽 编著

大连出版社出版 辽宁省新华书店发行
(大连市西岗区大公街市场南口) 抚顺教育印刷厂印刷

字数：110千 开本：787×1092 1/32 印张：5.25
印数：1—8000

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

责任编辑：潘宝俊 刘 民

封面设计：克 峻

责任校对：曹明珠

ISBN 7-80555-406-4/G·127

定价：1.85元

编者的话

为了帮助读者学好高中热学基础知识，掌握热学的研究方法，提高分析和解决热学问题的能力。作者根据多年的教学经验编写了《分子物理和热学》这本书。

本书包括了现行高中教材中热学的全部内容，并在教材的基础上略有提高。内容共分三章，章内分节，各节在讲述基础知识的基础上配有例题，例题之后设有“方法指导”一栏。针对重点章节的内容，除例题外，另附有适量的练习题，以供读者练习和自测之用。习题后面均附答案。

书中所有例题都经过精心筛选，题量大、题型全，对知识及能力的覆盖面广。在例题的解答中，着重引导读者学会分析物理过程，并能根据物理的特点找出解题的根据和思路，同时对解题的技巧尽力给以指导和示范。例题依先后顺序由易到难，逐渐扩大其灵活性和综合性，便于读者理解。在例题后“方法指导”一栏中，作者根据多年教学经验，着重总结章、节中“重点知识的理解要点”及解答各类型题目的一般方法和技巧。

本书可作为高中学生学习热学时的辅助读物。也可作为高考总复习的参考资料。

目 录

第一章 分子运动论 内能	1
一、分子运动论的三个基本观点	1
二、分子运动论的发展简史	9
三、分子的动能和势能 物体的内能	17
四、物体内能的改变 热和功	19
五、能的转化和守恒定律	22
第二章 固体和液体的性质	32
一、晶体和非晶体	32
二、空间点阵	34
三、液体的表面张力	41
四、浸润和不浸润 毛细现象	46
五、溶解和凝固	52
第三章 气体的性质	60
一、气体的状态和状态参量	60
二、气体的等温变化	67
玻意耳-马略特定律	67
三、气体的等容变化 查理定律	87
四、热力学温标	89
五、气体的等压变化 盖·吕萨克定律	99
六、理想气体状态方程	105
七、克拉珀龙方程	124
八、理想气体的内能	135

九、气体的液化 液体的汽化	144
十、饱和汽和饱和汽压	152
十一、空气的湿度 湿度计	154

1.....	體內 血液成分	第一章
1.....	血液成分	一
0.....	血液成分	二
11.....	體內 血液成分	三
01.....	血液成分	四
22.....	血液成分	五
22.....	血液成分	第二章
22.....	血液成分	一
22.....	血液成分	二
1.....	血液成分	三
01.....	血液成分	四
22.....	血液成分	五
00.....	血液成分	第三章
00.....	血液成分	一
70.....	血液成分	二
70.....	血液成分	三
00.....	血液成分	四
00.....	血液成分	五
00.....	血液成分	六
00.....	血液成分	七
00.....	血液成分	八

第一章 分子运动论 内能

一、分子运动论的三个基本观点

在初中及高中的物理教材中，已经讲述了分子运动论的基本内容。分子运动论的基本内容可以概括为以下三个基本观点：物质是由大量分子组成的；一切物质的分子都在永不停息地做无规则运动；分子间存在着相互作用力。

（一）物质是由大量分子组成的

在化学课的学习中我们已经知道，分子是具有各种物质的化学性质的最小微粒。我们又知道，构成物质的单位是多种多样的，或是原子（如金属）或是离子（如盐类）或是分子（如有机物），为简化我们的叙述，我们把这些物质单位统称为分子。

组成物质的分子是十分微小的，不但用肉眼不能直接看到它，就是用光学显微镜也不能看到它们。科学技术发展到今天，人类已经制造出高倍的离子显微镜。用放大200万倍的离子显微镜可以观察到钨针针尖上原子分布的图样，并可以测出钨原子间距的大小。经测定，钨原子间的距离大约为 2×10^{-10} 米。如果我们设想钨原子是一个挨着一个排列的，并设想钨原子是球形的，就可以粗略地认为钨原子的直径等于钨原子的间距，等于 2×10^{-10} 米。

一种可以粗略测定分子大小的方法，是把油滴滴到水面上，油在水面上散开，形成单分子的油膜，如果把分子看成

球形，单分子油膜的厚度就可以认为等于油分子的直径。用这种方法测定油分子的直径，事先要测出油滴的体积，再测出油膜的面积，就可以估算出油分子的直径。下面，我们以测定油酸分子直径为例来进一步了解这种方法。

如果把油酸液滴直接滴在水面上，形成的单分子油膜要占很大面积，所用的容器必须很大，这是很不方便的。为了便于实验，我们把油酸先配制成体积比为 $1:200$ 的油酸酒精溶液。然后用一只移液管将配置好的油酸酒精溶液滴入一只只有刻度的小量筒内，数出滴入1毫升的滴数 n ，则用同样的移液管滴一滴这样的溶液时，其中所含的油酸体积为 $\frac{1}{200n}$ 厘米³。

如图 1-1 在水盘内装入 1 厘米深的蒸馏水，为了便于观测油膜面积，可先在水面上撒一层石松粉，待粉末均匀散开后，用同一只移液管往水盘中央滴一滴已配制好的油酸酒精

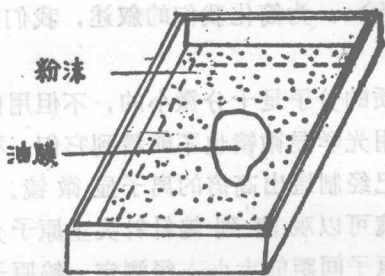


图 1-1

溶液，溶液在水面上迅速散开，形成一层单分子薄膜，浮在水面上。待薄膜面积不再扩大时，用一块玻璃板盖在水盘边缘上，在玻璃板上描出薄膜的轮廓。然后把玻璃板放到方格纸

上，如图 1-2，数出油酸溶液薄膜覆盖的格数，算出薄膜的面积 S ，其中油酸所占的面积应为 $\frac{S}{200}$ ，则油酸分子直径

应为 $\frac{1}{200n} \div \frac{S}{200} = \frac{1}{nS}$ (厘米)。科学家们发现，油酸分

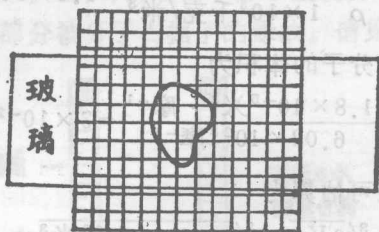


图 1-2

子是长形的，油酸分子在水面上总是竖立的。因此，用上述方法测定的油酸分子直径，实际上与分子的长度更接近些。

多次测定的结果表明，分子直径的数量级是 10^{-10} 米。

1 摩尔质量的任何物质都含有相同的分子数，这个数叫阿伏伽德罗常数。在一般的计算中，阿伏伽德罗常数的公认值为 $N = 6.02 \times 10^{23} \text{ 摩}^{-1}$ 。应用这个巨大的数字，我们可以定量地认识分子的微观模型。

如果我们知道某种物质的摩尔质量，应用阿伏伽德罗常数，我们可以算出该种物质的分子质量。例如，水的摩尔质量为 $M = 0.018 \text{ 千克} \cdot \text{摩}^{-1}$ ，可算出水分子的质量为

$$m_i = \frac{M}{N} = \frac{0.018 \text{ 千克} \cdot \text{摩}^{-1}}{6.02 \times 10^{23} \text{ 摩}^{-1}} = 3 \times 10^{-26} \text{ 千克}.$$

如果我们知道某种物质的摩尔质量及其密度，我们可以算出该种物质的摩尔体积；再应用阿伏伽德罗常数，就可算

出该种物质的分子体积；若把分子想象为球型，就可应用球的体积公式 $V = \frac{\pi}{6} D^3$ 估算分子的直径。例如，根据水的摩尔质量和水的密度 $\rho = 1 \times 10^3$ 千克/米³，可算出水的摩尔体积为

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{0.018 \text{ 千克} \cdot \text{摩}^{-1}}{1 \times 10^3 \text{ 千克/米}^3} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ 米}^3 \cdot \text{摩}^{-1},$$

继而可算出水分子的体积为

$$V_i = \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ 米}^3 \cdot \text{摩}^{-1}}{6.02 \times 10^{23} \text{ 摩}^{-1}} = 3 \times 10^{-29} \text{ 米}^3;$$

水分子的直径可估算为

$$D_i = \frac{\sqrt[3]{6V_i}}{\pi} = \frac{\sqrt[3]{6 \times 3 \times 10^{-29} \text{ 米}^3}}{3.14} = 4 \times 10^{-10} \text{ 米}.$$

阿伏伽德罗常数把分子的体积、分子质量这些难以直接测量的微观量与摩尔体积、摩尔质量等宏观量联系在一起，它为人们从微观角度定量地研究热现象打开了一条通道。

关于阿伏伽德罗常数，多少年来，科学工作者不断用各种方法测量它，以期得到更精确的数值。1976年用 X 射线法测得的数值是 $6.0220978 \times 10^{23} \text{ 摩}^{-1}$ 。早期测定阿伏伽德罗常数的一种方法，就是先用油膜法测出分子直径，再进一步求出这个常数。知道分子直径，就不难算出阿伏伽德罗常数。例如，我们已经知道水的摩尔质量是 $0.018 \text{ 千克} \cdot \text{摩}^{-1}$ ，摩尔体积是 $1.8 \times 10^{-5} \text{ 米}^3$ ，如果水的分子直径 $4 \times 10^{-10} \text{ 米}$ 是已知的，我们设想水分子是一个挨一个排列的小球，可算出水的分子体积约为 $\frac{4}{3} \pi (2 \times 10^{-10})^3 = 3 \times 10^{-29} \text{ 米}^3$ ，进而可算出 1 摩尔质量的水中所含的水分子数约为

$$N = \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{米}^3 \cdot \text{摩}^{-1}}{3 \times 10^{-29} \text{米}^3} = 6 \times 10^{23} \text{摩}^{-1}。$$

在前面的分析中，我们曾设想构成物质的分子是一个挨一个排列的，但实际上分子间存在着空隙。水和酒精混合后的体积小于原来的体积之和，就是由于分子重新分布，原来的分子间的空隙有一部分被分子占据了的缘故。请见图 1 - 3。

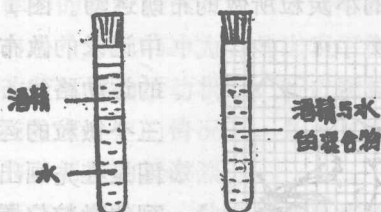


图 1 - 3

(二) 物质的分子在永不停息地做无规则运动

构成物质的分子并不是静止不动的，而是不停的做无规则运动。我们知道，不同的物质相互接触时，能彼此进入对方，这种现象叫扩散。扩散现象在物质世界里是经常发生的，例如：把一个空瓶子倒放在装有红棕色二氧化氮的瓶子口上，使两瓶口相对，虽然二氧化氮比空气的密度要大，但我们会看到，红棕色的二氧化氮不断地向装有空气的瓶中运动，当然空气也向装有二氧化氮的瓶里运动，最后完全混合。取一个量筒，先在筒内装入半筒清水，然后用长颈漏斗小心地把预先准备的硫酸铜溶液倒入量筒的底部，由于硫酸铜溶液比水的密度大，便沉在量筒的下部，可是经过若干天后清水和硫酸铜溶液就均匀地混合了，它们开始时的界面完全消失。如果把磨光的铅片和铜片压在一起，在室温下经过几年，把

它们切开后会发现，铅和铜互相渗入了对方，扩散现象表明，一切物体里的分子都在永不停息地做无规则运动。

更明显地证实分子运动的证据是布朗运动。悬浮在液体或气体中的微粒（直径约 10^{-3} 毫米）所做的永不停止的无规则运动，称为布朗运动。布朗运动是由英国植物学家布朗在1827年首先发现的。取一滴稀释的墨汁放在显微镜下观察，就能看到其中的小炭粒所做的布朗运动。图1-4是在观察

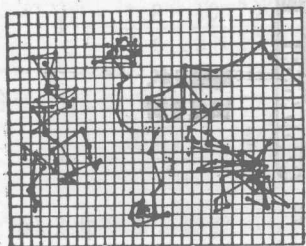


图1-4

中记录的做布朗运动的微粒的运动路线。该图表示的是三个微粒的运动情况。这个图是在先画出每隔30秒观察到的微粒位置，然后用直线把它们依次连接起来而得到的。实际上，在任一30秒时间间隔里，微粒的运动仍是

极不规则的，微粒是不可能做直线运动的。

布朗运动是怎样产生的呢？

由于微粒所在的液体在我们进行实验观察时并没有流动，因此，微粒的运动显然不是因为液体的流动而引起的。只有认为分子是在不停止地做无规则运动，才能对布朗运动做出合理的解释。悬浮在液体中的微粒，被液体分子所包围，由于液体分子不停地做无规则运动，所以微粒受到来自各个方向的液体分子的碰撞。微粒的体积是很小的，在某一瞬间，有可能使得从某一方向撞击微粒的液体分子数多于其他方向撞击的分子数，微粒受到的冲力就会出现不平衡，它将沿着较大冲力的方向加速。下一瞬间，在另一方向上微粒

受到的冲力大些，它又会沿着只一方向加速。这样，就引起微粒的无规则运动。对于这种解释，爱因斯坦于1905年又做了进一步的研究，所得出的结论很快被实验证实。从此，布朗运动就成为分子运动公认的证据。

做布朗运动的微粒并不是分子，它的无规则运动也不是分子的无规则运动，而是分子无规则运动的反映。

当悬浮在液体中的颗粒较大时，由于同时跟它碰撞的液体分子较多，来自各个方向的冲力容易出现平衡；又由于颗粒质量大，难以改变原有的运动状态，所以颗粒不做布朗运动。实验表明，在温度一定的情况下，悬浮在液体中的微粒越小，微粒所做的布朗运动越激烈。

在不同的温度下，观察同一种液体中悬浮微粒的布朗运动，我们发现，温度越高，微粒的运动越激烈。这说明分子的无规则运动与温度有关，温度越高，分子运动越激烈。由于分子无规则运动的激烈程度与温度有关，故称这种运动为热运动。

（三）分子间的相互作用力

既然物体是由分子组成的，而且分子在不停地运动着，为什么固体不会分散成一个个的分子，而能保持一定的体积和形状呢？又为什么折断一根木棍，拉断一根绳子，都要费相当大的力呢？原来分子之间存在着相互作用的引力，要把物体分开，必须克服分子之间的引力。

固体和液体都很难被压缩，这又是为什么呢？原来物体分子间还存在着相互作用的排斥力，这种排斥力使分子间保持着间隙，而不是紧挨在一起。当我们压缩物体，由于分子间相互作用的斥力的存在，因而感到很困难。

分子间的引力和斥力是同时存在的，引力和斥力的大小

都随物体分子间距的变化而变化。当分子间距约为 $r_0 = 10^{-10}$ 米时，一个分子对另一个分子的引力和斥力相平衡，分子受到引力和斥力的合力等于零，即分子间不显力的作用。当分子间距变小时，分子间的引力和斥力都增大，但斥力比引力增加得快，因而在分子间距 $r < r_0$ 时，斥力大于引力。这时分子受到的引力和斥力的合力为斥力，即分子间显斥力作用。当分子间距变大时，分子间的引力和斥力都减小，但斥力比引力减小得快，因而在分子间距 $r > r_0$ 时，引力大于斥力。这时分子受到的引力和斥力的合力为引力，即分子间显引力作用。如果用 $f_{引}$ 、 $f_{斥}$ 分别表示一个分子对另一个分子的引力和斥力，得 F 表示引力和斥力的合力，分子力和分子间距的关系可由图 1-5 表示：

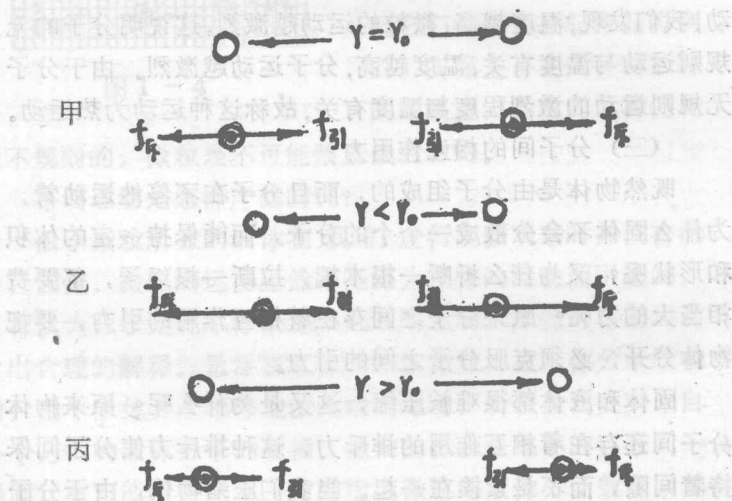


图 1-5 分子力与分子间距的关系

分子之间可以发生相互作用的距离是有限的，一般说来，当分子间距超过分子直径的十倍以上时，分子间的相互作用的引力和斥力都十分微弱，这种情况下，可以认为分子间无相互作用力。打碎的玻璃不能再拼在一块，就是因为拼合处，绝大多数分子间的距离都比较大，分子间的引力太微弱的缘故。

二、分子运动的发展简史

早在2500多年前，古希腊人就开始了探索物质组成的秘密。约在公元前462年左右～公元前370年左右，古希腊的德漠克利特就认为万物是由大量不可分割的物质微粒组成的，他把这种微粒叫做原子。按照德漠克利特的观点，各种原子没有质的差别，只有大小、形状和位置的差异；原子在虚空中不停地运动着。德漠克利特的原子论在古希腊后期和古罗马时间曾有所发展，逐渐形成了古代的原子理论。古代的原子理论，虽然只是对物质结构的一种猜测，但它的基本思想却包含着近代原子理论的萌芽。

在漫长的历史时期里，古代原子论没有得到发展，在中世纪，原子论受到宗教的非难和排斥。直到17～18世纪，由于产业革命的推动，蒸汽机得到普遍的应用和不断改进，提高热机效率已成社会的迫切需要，从而促使人们不断探索热现象的本质，于是出现了分子运动论的学说。在这一时期，法国哲学家伽森第以分子运动论的观点解释了物质固、液、气三态的区别。接着瑞士科学家伯努利在《流体力学》一书中又用分子运动论的观点解释了气体压力的产生原因。继而俄国科学家罗蒙诺索夫在《冷和热的原因的探讨》一文

中提出了如下设想：构成物质的微粒极小，因此肉眼不可能看到微粒本身的运动，但是它的运动表现在无数的现象之中，热无非是微粒的运动而已。在这一时期，尽管这些先驱者的学说中有许多正确的观点和敏锐的构思，但缺少定量的理论推导，从而使得分子运动论的研究仍处于定性探讨阶段。从18世纪开始一直到19世纪30年代，以热质守恒为基本原理的热质说已积累了大量的实验数据，从而使热质说成为当时占统治地位的理论。分子运动论在当时仍不能为人们普遍接受。在当时，要确立分子运动论在热学中的地位，急待于从更广泛的角度阐明热运动与其他运动形式之间的内在联系。

19世纪中叶，能量转化和守恒定律的确立，有力地否定了热质说的基本观点，确认热是一种运动的表现，为分子运动论的迅速发展开辟了道路。在这一时期德国物理学家克劳修斯、英国物理学家麦克斯韦、奥地利物理学家玻耳兹曼、美国物理学家吉布斯等人，为建立定量系统的分子运动论做出了不朽的贡献。在玻耳兹曼、麦克斯韦和吉布斯的努力下，从19世纪后期到本世纪初建立了经典统计力学，分子运动论就是其中的一个分支。

在分子运动论迅速发展时期，分子运动论曾受到一些科学家的强烈反对。直到本世纪初，由于爱因斯坦等科学家从理论和实验上对分子运动论进行了深入的研究，表明了分子运动是无可置疑的事实，分子运动才成为科学家们公认的理论。

【例1】1克氢气中含有多少个氢分子？在标准状况下，它们占有多大的体积？（氢气的摩尔质量为 2×10^{-3} 千克/摩）

【解】1克氢的摩尔数为 $x = \frac{1 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 0.5$ ，1克氢中

含有的分子数 $n = 0.5 \times 6.02 \times 10^{23} = 3 \times 10^{23}$ 。1 克氢气在标准状况下占有的体积应为 $V = 0.5 \times 22.4 = 11.2$ (升)

【方法指导】 1 摩尔某种物质的质量叫摩尔质量。数值上等于该物质的分子量 (或原子量) 乘以 10^{-3} ; 单位为 $\text{千克} \cdot \text{摩}^{-1}$ 。压强为 1.013×10^5 帕, 温度为 0°C 时气体的状态叫标准状态。1 摩尔某种气体的体积叫摩尔体积, 在标准状态下, 任何气体的摩尔体积均为 22.414 升, 近似取 22.4 升。阿伏伽德罗常数是 1 摩尔任何物质所含的分子数, 恒为 $6.02 \times 10^{23} \text{摩}^{-1}$ 。熟知上述概念及数值, 是解答本例题的关键, 也是解答例 2、例 3 及例 4 的关键。

【例 2】 在 10 米深, 面积是 10 平方公里的湖里, 投入 1 克的食盐, 如果食盐均匀地溶解在湖水里, 那么每立方厘米的湖水中含有多少个食盐分子?

【解】 食盐的摩尔质量为:

$$M = 23 + 35.46 = 58.46 \text{ (克)}$$

根据阿伏伽德罗常数可计算出:

$$1 \text{ 克食盐所含的分子数} = \frac{6.02 \times 10^{23}}{58.46} \text{ (个)}$$

湖水的体积为:

$$V = 10^7 \times 10 = 10^8 \text{ (米}^3\text{)} = 10^{14} \text{ (厘米}^3\text{)}$$

1 立方厘米的湖水中含有的食盐分子数为:

$$\frac{6.02 \times 10^{23}}{58.46 \times 10^{14}} = 1.03 \times 10^8 \text{ (个)}$$

【例 3】 已知 1 立方厘米的水中, 约含有 3.34×10^{22} 个水分子, 水的密度是 1.0×10^3 千克/米³。求阿伏伽德罗常数。

【解】 1 摩尔水的质量为 18×10^{-3} 千克。根据水的密度