

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-3

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修 3—3

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究中心 编著

人民教育出版社

策 划：彭前程

主 编：周誉蔼

编写人员：张京文（第七章，第八章）

唐 掣（第九章）

王 琦（第十章）

汪维澄（实验）

责任编辑：张 颖

绘 图：刘 菊

版式设计：马迎莺

普通高中课程标准实验教科书

物理 选修3-3

教师教学用书

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心

*

人民教育出版社出版发行

网址：<http://www.pep.com.cn>

益利印刷有限公司印装 全国新华书店经销

*

开本：890毫米×1240毫米 1/16 印张：5 字数：120 000

2005年6月第1版 2006年12月第4次印刷

ISBN 7-107-19090-3 定价：5.10元
G·12180（课）

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与本社出版科联系调换。

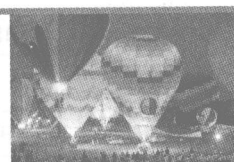
（联系地址：北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081）

目 录

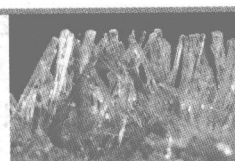
第七章 分子动理论	1
一、教科书的编写意图	1
二、教学要求与建议	3
三、问题与练习解答	9
四、教学参考资料	12



第八章 气体	19
一、教科书的编写意图	19
二、教学要求与建议	21
三、问题与练习解答	28
四、教学参考资料	29



第九章 物态和物态变化	35
一、教科书的编写意图	35
二、教学要求与建议	37
三、问题与练习解答	45
四、教学参考资料	47



第十章 热力学定律	53
一、教科书的编写意图	53
二、教学要求与建议	56
三、问题与练习解答	65
四、教学参考资料	68

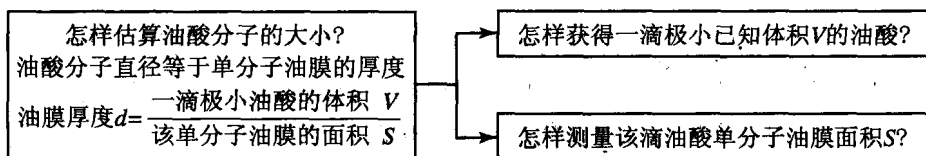


第七章 分子动理论

一、教科书的编写意图

1. “实验”栏目重视对实验思路和方法的陈述

本章的一个主要实验，是“用油膜法估测分子的大小”。对该实验项目的陈述，教科书没有采用以实验步骤作为行文线索的做法，而是按照该实验的思路从逻辑上概括为几个需要解决的问题。



以上方框图中，每一个方框就是一个需要解决的问题，以这三个问题作为行文的线索，不仅有利于学生理解这个实验的原理，而且让学生看到了一个实验的具体方案是怎样构思出来的，发展了学生设计实验的能力。

在课堂教学时，教师介绍了用测量油膜厚度的办法来估算油酸分子直径的思路之后，“怎样获得一滴极小已知体积的油酸”和“怎样测量该滴油酸的单分子油膜面积”这两个问题，可以让学生自主思考和相互讨论。教科书把实验原理和步骤融入在几个需要解决的问题中，按照这种线索编写，就为课堂教学中发挥学生自主学习和相互交流的过程创造了条件。

2. 让学生经历分析问题和解决问题的过程

为有利于课堂教学中实现“过程与方法”目标，促进学生在课堂中自主学习，教科书设计了一系列让学生分析问题和解决问题的活动，它为教师设计自己的教案提供了思路，教师可以借鉴这些实例对教学过程进行再创造。例如：学生通过实验理解分子的大小是可以估测的、并知道分子大小的数量级之后，教科书安排了让学生自己估算阿伏加德罗常数的过程。估算所需要的知识基础都是学生所具备的，学生经历了这一过程之后，增强了对阿伏加德罗常数的亲近感，不会觉得它很神秘了。

教科书在介绍了布朗发现悬浮在水中的花粉做永不停息的无规则运动、并认定花粉的无规则运动不是外界因素引起的之后，安排了一个“说一说”，从三个颗粒在同一时间中的运动轨迹，证明颗粒无规则运动不是外界因素引起的。因为显微镜视野下的几个颗粒的位置是非常靠近的，不管是由于温度变化引起的对流，还是由机械因素引起的振动，这几个非常靠近的颗粒在相同时刻都应该有相同的运动特征。这三个颗粒运动轨迹的无规则性，证明花粉的运动不是对流、振动等外部因素引起的。让学生经历这一过程，有利于增强学生逻辑分析能力和理论联系实际意识。

在“分子间的作用力”这节，教科书阐明了分子间的斥力和引力随分子间距离增大而减小的不同特点后，让学生在分子间斥力、引力与分子距离关系的图象（图 7.3-2）中，作出分子间的合力随分子距离关系的图象。学生在作出这条曲线的过程中，不仅知道了分子间的相互作用

用力在分子间距离的不同范围内具有不同变化特点这一结论，重要的是加深了对分子间相互作用力（合力）的理解，学会如何用图象来表示某个（一维）变化的矢量，这对增强学生用函数图象表达、分析物理问题的能力是很有帮助的。当然，不一定所有学生都能准确完成，因此，教科书在阐述分子势能时，再用图 7.5-1 正确地呈现了这一图象，使学生对该图象的认识得到进一步的落实。

3. 重视联系学生生活、联系现代科技

本章所研究的“分子动理论”比较抽象，教科书注意了把抽象的理论跟学生的生活进行联系。例如，在学习扩散现象时，教科书呈现了一幅酱油在熟鸡蛋的蛋清中扩散的彩色照片，把学生日常生活中经常见到的现象活生生地展示在他们的面前，不仅能使学生对抽象的理论产生亲近感，而且有利于增强学生理论联系实际的意识。在学习“温度计与温标”之后，教科书紧接着安排了一个“科学漫步”栏目，设置了“形形色色的温度计”这个主题，把生活中的玻璃-水银温度计、玻璃-酒精温度计，生产中的双金属温度计、压力表温度计、半导体热敏温度计、热电偶温度计，科学研究中的铂电阻温度计，以及学生倍感新鲜的磁温度计、声速温度计、频率温度计等各种温度计，以测温物质的相关性质为线索，对各种温度计的制作原理和特点一一介绍。学生不但知道了温度计总是根据物质某种跟温度有关的性质来制作的这一知识，同时感受到了物理学跟现实生活、现代科技的紧密联系。

4. 利用练习题来解读教科书

练习题通常被认为是用来巩固、检测所学知识的。本章教科书中的练习题，有的还肩负着解读教科书的功能。本章第 1 节实验“用油膜法估测分子的大小”，由于强调实验的原理和思路，行文时没有按照实验步骤的顺序进行，而是按照实验需解决问题的逻辑关系展开的。为了让学生经历一次按实验步骤进行思考的过程，并且以具体的操作方法和实验数据来理解实验的原理和思路，在本节课文后面，设计了一个练习题（第 2 题），通过计算这个练习题的答案，达到解读教科书的目的。

又例如，在第 2 节“分子的热运动”中，教科书阐述布朗当时观察悬浮在水中的花粉时，认为花粉的无规则运动不是外界因素引起的，但教科书并没有对该结论的判断根据作进一步说明。在本节的练习题中，教科书设计了一个题目（第 2 题），让学生根据实验现象自己分析出布朗运动并不是因为环境温度的变化、实验场所振动等外部因素引起的。这个题目，除了发展学生的分析、判断能力之外，实际上也起到了解读教科书的作用。

5. 本章概述

费曼（R. Feynman）曾经说过：“假如在一次浩劫中所有的科学知识都被摧毁，只剩下一句话留给后代，什么语句可以用最少的词包含最多的信息？我相信，这是原子假说，即万物由原子（微小粒子）组成，它们永恒地运动着，并在一定距离以外相互吸引，而挤压在一起时则相互排斥。在这一句话里包含了有关这世界巨大的信息。”世上万物种类繁多，形态各异，而它们的共性就是，物质是由叫“分子”的微粒组成的。

热学部分的知识是中学物理课程的重要组成部分。热学与力学相比，研究对象、研究内容和研究方法都有所不同。力学研究的是宏观物体的机械运动规律和机械能的转化和转移。而热学的研究对象是由大量微观粒子（分子、离子、原子）组成的热学系统，研究与大量分子无规则运动有关的热现象，包括温度及温度的测量、大量分子无规则运动所对应的内能、内能与机械能等其他能量间的转化和守恒等等。

热学可分为统计物理学与热力学，它们的研究对象都是大量微观粒子组成的宏观系统，但

是二者的研究方法不同。热力学是根据观察物质系统的实验结果，用逻辑推理的方法寻求热现象的宏观规律；而统计物理学是以分子运动的集体行为来说明物质有关物理性质及规律的微观理论，其基本观点是“物质是由大量分子组成的，分子永不停息地做着无规则运动，分子间存在相互作用力”。本章主要是以实验和大量的生活事实为素材，用分子动理论的观点分析处理大量分子的热运动，进而研究热现象的规律。

对于分子动理论的内容，学生并不生疏，在初中学过这部分知识。与初中相比较，高中阶段的要求有所提高。一是加强了分子动理论实验基础，介绍了微观量的测量方法。二是加深了对分子动理论的理解，特别在“温度和温标”一节中加入了平衡态的概念和热力学第零定律，为温度和温标的讲解奠定了理论和实验基础。

由于学生有一定的知识基础，所以教师可以采取灵活的授课方式进行教学。例如，采取学生阅读、教师提问的方法，还可以采用探究式的学习方式进行学习。对一些对物理特别感兴趣的学生，教师可以鼓励他们通过不同媒体查阅一些关于这一阶段科学发展的历史，或了解当前科学领域中的研究课题等等，这样可以开阔学生的视野，扩大学生的知识面。

二、教学要求与建议

课时分配建议：

第1单元	1. 物体是由大量分子组成的	1学时
	2. 分子的热运动	1学时
	3. 分子间的作用力	1学时
第2单元	4. 温度和温标	1学时
第3单元	5. 内能	1学时

1. 物体是由大量分子组成的

(1) 教材分析

教材对“物体是由大量分子组成的”这一知识，是从组成物质的分子数目的“大量”和分子的“微小”两个角度来说的，这两个角度是一致的。通过阿伏加德罗常数的计算，使学生体会组成物质的分子数的“巨大”，通过用油膜法估测分子的直径来体会分子的“微小”。

(2) 分子的大小和形状

教材首先给了一个能够让学生想象的实例，即与细菌差不多的 $1\mu\text{m}$ 大小的水珠中含有的分子数为地球人口的好几倍，这么小的一滴水却含有如此之大数量的分子，可以想象分子有多小。通过这个实例使学生初步了解我们现在研究的是数量极大的分子。有兴趣的学生由此也可以估算一下分子大小的数量级。教材中安排的图 7.1-3 是用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原

子照片。通过这幅照片，学生可以看到客观存在的分子（原子），对于形成科学的物质观和后续热学的学习打下一定的基础。教学时，让学生了解图上亮斑是碳原子的像就可以了。关于扫描隧道显微镜的工作原理不必给学生过多介绍，但可以告诉学生扫描隧道显微镜不仅可以拍摄分子、原子的照片，它在当前许多科技领域都起着重要的作用，受到科学工作者的密切关注。

通过照片，学生会清楚地看到，分子（原子）并不是一个个的小球。把分子看做小球，是分子动理论中对分子的一种简化模型。根据研究问题的需要，人们为分子建立了不同的模型，在不涉及分子内部结构和运动时，可以用小球作为分子的模型。在教学中注意说明模型在物理学中的意义，使学生理解模型都是根据研究的问题产生的，理想模型是在一定场合、一定条件下突出客观事物的某种主要因素，完全忽略了那些次要因素。将分子看做小球与在力学中的质点、电学中的点电荷一样都是理想化模型。实际上分子的结构是很复杂的，分子并不真是小球，分子间也存在着空隙，因此，我们所计算出的分子直径、分子大小，只是一个粗略的数量级概念，反映了分子所占的空间大小。在研究分子内部结构和运动时，则需要较复杂的分子结构模型了。

(3) 油膜法测分子直径

油膜法测分子直径是早期测定分子大小的方法，这是高中阶段学生第一次利用宏观量的测定求出微观量大小的实验。这个实验虽然并不难做，但有些学生仍无法想象油膜由一个挨一个的单分子组成。我们在讲油膜法估测分子大小的实验之前，可以让学生想办法估测一粒小米的直径。

分子是非常小的，用油膜法可以巧妙地估测出分子的直径，是由于选取的待测物的特性。油酸分子式为 $C_{17}H_{33}COOH$ ，在常温下为液态。它的分子是长形的，一端是具有亲水性的羧基 $COOH$ ，另一端是具有憎水性的羟基 $C_{17}H_{33}$ 。当油酸在水面上形成有自由边界的油膜时，每个分子都是直立的，羧基在下，成为一个单分子层，如图 7-1 所示。通过实验测出油膜的体积和面积，可以算出膜的厚度，就是单个油酸分子的长度。

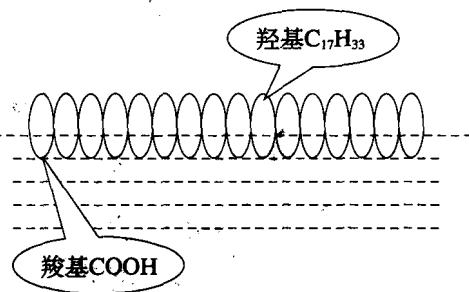


图 7-1 油酸分子示意图

油酸的具体配制方法见“实验参考资料”。

(4) 阿伏加德罗常数

阿伏加德罗常数是联系微观量和宏观量的桥梁，是一个重要的常数。通过用阿伏加德罗常数计算每个分子的大小和质量，可以使学生对一个分子大小和质量的数量级有大概的认识，同时也使学生进一步理解这个常数的意义。利用阿伏加德罗常数进行计算往往是估算，常常用到“数量级”的概念。记住一些特殊的数量级有时对考虑问题或粗略检查自己估算是否出现了错误有一定的帮助，例如记住分子直径的数量级、记住分子质量的数量级等等，有时会很有用。应注意，我们书中说的分子直径的数量级是 $10^{-10}m$ ，主要是指无机物分子，有些有机物分子比 $10^{-10}m$ 的数量级大得多。

(5) “思考与讨论”的教学建议

教材“思考与讨论”栏目中的问题要给学生一定的时间，尽量让学生独立思考完成。在这里注意既然是估算，算出数量级就可以了。例如，每个水分子的体积可以直接将水分子的直径立方，与用球体积公式算出的数量级是一样的，估算出阿伏加德罗常数的误差也不大，所以估算时往往只关注数量级是完全可以的。



2. 分子的热运动

(1) 教材分析

“分子永不停息地做无规则的热运动”是分子动理论的核心内容。本节是通过一些生活中的实例和实验来说明这一观点的。本节实验和逻辑推理的过程比较多,但是学生对所涉及的内容并不陌生,可以采取学生阅读教材后,在教师指导下讨论式的教学方式。教师要抓住教材中的关键词句使学生展开讨论,让学生体会到理科书籍该如何阅读,培养学生的表达能力和逻辑思维能力。

(2) 分子在永不停息地做无规则运动

对“分子在永不停息地做无规则运动”的理解,应从两个方面展开,一是“永不停息”,二是“无规则”。

“永不停息”是从对实验现象的推理来认识的。通过对布朗运动的观察可以发现,只要液体不干涸,就看不到这种运动停下来。这种运动不分白天和黑夜,不分季节地永远进行着。布朗运动不是由外界因素影响所产生的。所谓外界因素的影响,是指存在温度差、压强差、液体振动等,所以布朗运动是人力无法阻挡的。只要液体的温度不变,随着时间的推移,布朗运动的激烈程度就不会有丝毫的减弱,即布朗运动与时间无关,体现了运动的永久性。

从显微镜下观察到悬浮在静止液体中的花粉不停地做无规则运动。对于一个宏观物体,周围分子对它的撞击的冲力,平均来说相互抵消,但由于涨落现象,在各个瞬间,力或多或少有些不平衡。微粒越小,力的涨落效果越明显,这就是引起布朗粒子无规则运动的原因。可见布朗运动是由于分子不断无规则运动产生的。单个分子的运动是无规则的,但大量分子的运动是有规律性的,体现在大量分子的运动遵循统计规律。所以,“无规则”不是“无规律”。

(3) 扩散现象和布朗运动

教材中强调扩散现象和布朗运动不是外界作用引起的,它们是人力无法阻挡的。在这里教师可以结合本节的“问题与练习”中的第3题引导学生进行讨论,生命、对流、振动等因素会给布朗运动造成怎样的影响,从而使学生理解宏观微小无规则运动会使大量分子进行定向运动。布朗运动的实验观察可参考“实验参考资料”。

扩散现象是分子直接运动的结果,布朗运动虽然不是分子的运动,但它却是分子运动的宏观反映。分析布朗运动产生的原因是本节的重点之一,让学生看懂教材中图7.2-6很重要。布朗运动的成因也可以用仪器模拟或计算机软件模拟。显微镜下看到的是固体的微小悬浮颗粒,液体分子是看不到的,因为液体分子太小了。液体中许许多多做无规则运动的分子不断地撞击微小悬浮颗粒,当颗粒足够小时,它受到来自各个方向的液体分子的撞击作用是不平衡的。布朗运动不是固体颗粒中分子的运动,也不是液体分子的无规则运动,而是悬浮在液体中的固体颗粒的无规则运动。无规则运动的原因是液体分子对它无规则撞击的不平衡性。因此,布朗运动间接地证实了液体分子的无规则运动。在其他条件相同的情况下,微粒的质量越小,越容易改变运动状态,因此在受分子撞击后做无规则的运动就越剧烈。温度越高,分子无规则运动得越剧烈,对悬浮微粒撞击的频率及强度越高,所以微粒无规则运动得越剧烈。

悬浮在液体中的固体微粒,永不停息地做无规则运动,当时并不能解释这种运动的原因,但布朗却精于观察和实验,肯定了这种运动的客观存在。他发现问题,并把观察到的现象详尽

记录下来,为后人的进一步研究做出了开拓性的贡献。在70多年后,20世纪初爱因斯坦发表了论文《热分子运动论所要求的静液体中悬浮粒子的运动》,从能均分定理出发,得出了布朗运动的完整理论。同一时期法国物理学家佩兰完成了布朗运动的定量实验。他们的工作把原来看不见的分子的微观运动和可以观察到的微粒的宏观运动联系了起来,为研究物理现象提供了一个重要的、科学的研究方法。

3. 分子间的作用力

(1) 教材分析

分子间的相互作用力是微观领域的力,学生很难理解大量分子间的相互作用是什么样的,所以做好教材中的两个实验很重要,可以使学生体会分子间有空隙、分子间有相互作用力,而且相互作用力的大小与分子间的距离有关。教学中还应让学生列举生活中的实例。

在做酒精和水混合的实验时,先把加点红色的水灌进管中,而后将酒精沿管壁缓慢注入,在试管中用红线在液面做个记号。相互混合之后会发现,混合物的体积明显少于混合之前。混合前酒精与水的体积比为52:48,实验效果较好。水和酒精混合后体积小于原来的体积之和,就是由于分子重新分布,原来的分子空隙有一部分被另一种分子占据了的缘故。

在把两块纯净的铅块压紧“粘”在一起时,要注意一要保证接触面是纯净的,要削掉铅块表面的氧化膜,二要保证接触面平整,使足够多的分子达到相互吸引的距离,所以,不要破坏铅块原来表面的平整度,轻轻用转刀削去一薄层就可以了。

(2) 分子间的作用力

分子力是由分子间带电微粒的相互作用引起的,因此分子力的本质是电磁相互作用。整个分子是一个复杂运动的带电体,所以分子间的作用力是很复杂的,但在研究分子间相互作用时往往采用简单的模型来描述。教材中将分子间的作用简化为用弹簧两端连接的两个小球间的相互作用力的模型。当小球处于平衡位置时,小球间的相互作用力为零;而当小球间距离改变时,弹力把它们推向平衡位置。用这个模型来说明分子间的相互作用力的合力是非常形象的,即当分子间的距离小于平衡位置时的距离时,相互作用的合力为斥力;当分子间的距离大于平衡位置时的距离时,分子间的相互作用力为引力。固体的分子就是在这种力的作用下在平衡位置附近做无规则振动。但是应该注意,这个模型只是近似反映了分子在平衡位置附近相互作用力的情景,它不能说明分子间相互作用既有斥力又有引力,更不能表示分子间距离发生变化时分子间的斥力和引力的复杂变化情况。

让学生看懂图象是培养学生阅读理科书籍能力的重要环节。带领学生看图7.3-3时,让学生利用图中给出的信息说一说 $F_{斥}$ 和 $F_{引}$ 是怎样随 r 变化的,图中如何表示出 $F_{斥}$ 比 $F_{引}$ 变化得更快。需要学生间的充分讨论,通过讨论明白 $F_{斥}$ 比 $F_{引}$ 减小得更快,是指当分子间距离变化相同时,分子间的斥力变化量大于引力的变化量。在一定范围内,斥力曲线上各点切线的斜率比引力曲线上各点切线的斜率大。

(3) “思考与讨论”的教学

在“思考与讨论”栏目中,分子间相互作用的合力图线是让学生自己来完成的,一定要让学生自己动手去做,并且说一说分子间何时表现为斥力,何时表现为引力。

需要说明的是,分子之间可以发生相互作用的距离很短,一般当分子之间的距离超过分子

直径的10倍,即1 nm的数量级时,可认为分子之间的作用力为零,所以气体分子间的相互作用力忽略不计。

教师要将统计规律渗透在教学的过程中。统计规律是自然科学和人类社会生活的普遍规律之一,它是对大量的偶然事件整体起作用的规律。统计规律表现了这些偶然事件整体的和必然的联系,而个别事件的特征和偶然联系已经不是研究的重点了。例如,气体分子在无序运动中不断发生频繁碰撞,每个分子运动速率不断地发生变化。某一特定时刻,某个特定分子究竟具有多大的速率完全是偶然的,不能预知的。但对大量分子的整体,在一定条件下,实验和理论都证明它们的速率分布遵从一定的统计规律。

4. 温度和温标

(1) 教材分析

本章是选修3系列3-3模块中的内容,选修本模块的学生在完成物理1、物理2两个必修模块后,还修完了3-1和3-2两个选修模块。应该说,学生已经具有一定的物理学基础知识,而且对物理学的进一步选修表现有兴趣和特长。在这种情况下,本章就有可能比较系统、准确地建立相关的物理学概念。在“温度和温标”这一节中,教科书引入了系统、状态参量、平衡态、热平衡等一系列概念,并根据热平衡来定义温度。此时学生对温度这个物理量的理解就比初中“冷热的标志”这一说法深刻了很多,但又和初中的说法是一致的。初中只知道用温度计测量温度的操作过程,而现在根据热平衡定律明确了这一操作过程的物理原理。初中许多热学现象,现在都可以用新的概念来重新认识。例如,第4节课文后面练习题的第1题,学生用“平衡态”“热平衡”的概念来认识“测定金属块的比热容”的实验过程,对实验过程的理解便上升了一个层次。

(2) 平衡态和非平衡态

平衡态和非平衡态的概念是这一教材新加的内容,但是教材对此要求不高。学生只要知道,达到平衡态的系统,各点的温度和压强都不再随时间变化就可以了。应该注意两点:第一,在有外界影响时,系统也可能处于一种宏观性质不随时间变化的状态,但这不是平衡态。例如:一根长铁丝,一端插入 100°C 的沸水中,另一端放在 0°C 恒温源中,经过足够长的时间,温度沿铁丝有一定的分布,而且不随时间变化。这种状态不是平衡态,只是一种稳定状态,因为存在外界的影响。当撤去外界影响,系统各部分的状态参量就会变化。第二,热力学系统的平衡态是一种动态平衡,组成系统的分子仍在不停地做无规则运动,只是分子运动的平均效果不随时间变化,表现为系统的宏观性质不随时间变化。而力学中的平衡是指物体的运动状态处于静止或匀速直线运动。平衡态是一种理想情况,因为任何系统完全不受外界影响是不可能的。系统处于平衡态时,由于涨落,仍可能发生偏离平衡状态的微小变化。

(3) 热平衡定律

热平衡定律又叫热力学第零定律,说的是分别与第三个系统处于热平衡的两个系统,必然互成热平衡状态。热力学第零定律给出了温度的宏观定义,也为温度的测量提供了理论依据。此定律也是温度计测量物体温度的原理,因互为热平衡的物体具有相同的温度,所以比较各物体的温度时,不需要将各个物体直接接触,只须将作为标准物体的温度计分别与各个物体接触,即可比较各物体温度的高低。



(4) 温度的概念

在初中阶段将温度定义为“表示物体冷热程度的物理量”，这是对温度的一个通俗解释。这个定义带有主观性，因为冷热测定是由人的感觉器官比较得到的，往往是不准确的。温度的严格定义及测量原理是建立在热平衡定律基础上的。

教材中说道：两个系统处于热平衡时，它们具有一个“共同性质”，我们就把表征这一“共同性质”的物理量定义为温度。这样定义温度更加科学了，但学生会在此感到难以理解。教师应举出一些实例，引导学生体会那个“共同性质”所指的是什么。例如：在一个绝热系统中，有一块烧烫的铁块，还有一些较冷的砂土。使两者接触，铁块会慢慢变冷，砂土会慢慢变热，后来它们变得一样“热”了，就不再变了。这种“冷热程度相同”就是它们的“共同性质”。结合初中物理学习过的温度定义，表征这一“共同性质”的物理量定义为温度，就不难理解了。

(5) 温度计与温标

实验室里常用温度计的原理是：一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。温度计就是我们选择的标准物体，温度计与待测物体接触，使它们达到热平衡，标准物体所表示的就是待测物体的温度。温度计的热容量必须很小，以便它与待测物体接触并进行热交换时，几乎不改变待测物体的状态。

为了表示出物体温度的数值，对温度零点、分度方法所做的规定，就是温标。温度的表示方法有很多种，例如摄氏温标、华氏温标等。不同的温标都包含三个要素：第一，选择某种具有测温属性的测温物质；第二，了解测温物质随温度变化的函数关系；第三，确定温度零点和分度的方法。1848年开尔文建立了热力学温标，它不依赖于测温物质的具体性质。由热力学温标定义的温度叫热力学温度，热力学温度的单位开尔文是国际单位制中七个基本单位之一。

教材图 7.4-1 介绍了伽利略温度计的构造，感兴趣的同学可以自己动手做一做。如果有图示的玻璃壶更好，如果没有可以用烧杯代替。烧瓶上用单孔橡皮塞插一根长玻璃管，先用双手捂住烧瓶，使其中的空气膨胀，然后倒插入烧杯的水中，水会吸入玻璃管中。固定烧瓶，可以检测温度的变化。

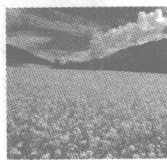
5. 内 能

(1) 教材分析

一种运动形式对应一种能量的形式。机械能与机械运动相对应，内能与大量分子的热运动相对应。每当我们了解了一种运动形式的特点后，都要从另一个角度即能量的角度去认识这种运动。在前几节中我们了解了组成物体的分子在永不停息地做着无规则运动，内能一节就是从能量的角度来认识热运动的。

(2) 分子动能

物体是由分子组成的，组成物体的大量分子在不停息地做无规则热运动，所以每个分子都有无规则运动的动能。由于物体内部各个分子的速率大小不同，因此，各个分子的动能大小不同。由于热现象是大量分子无规则运动的结果，所以研究个别分子运动的动能是没有意义的。而研究大量分子热运动的动能，需要将所有分子热运动动能的平均值求出来，这个平均值叫做分子热运动的平均动能。学习布朗运动和扩散现象时，我们知道二者都与温度有关系，温度越高，布朗运动越激烈，扩散也加快。依照分子动理论，这说明温度升高后分子无规则运动加



剧。用上述分子热运动的平均动能来说明,就是温度升高,分子热运动的平均动能增大。如果温度降低,说明分子热运动的平均动能减小。因此从分子动理论观点来看,温度是物体分子热运动的平均动能的标志。“标志”这一说法比较模糊,确切地说温度是分子平均平动动能的度量,但是在教材中没有提到平均平动动能,所以不必深入解释。

应该注意,温度只与物体大量分子热运动的统计意义上的平均动能相对应,而个别分子或几十个、几百个分子热运动的动能大小与温度是没有关系的。

(3) 分子势能

分子势能是由分子间相对位置决定的能量。由于分子间既存在着引力,又存在着斥力,所以,分子间距离变化时,既要考虑引力做功,又要考虑斥力做功。为简化起见,教材中用分子间的合力做功来分析分子势能变化,并进一步采用弹簧-小球模型来比喻,学生理解起来更加容易了。从图中看到分子间距离在 r_0 处,分子势能最小。从对弹簧-小球模型的分析中我们也可以看到,当弹簧为原长时,两小球处于平衡位置,组成小球和弹簧的系统具有的弹性势能最小。

综合教材中的分析,分子间距离以 r_0 为数值基准, r 不论减小或增大,分子势能都增大。所以说,分子在平衡位置处是分子势能最低点。换一个角度,如果分子间距离是无限远时,取分子势能为零值,应该如何分析呢?分子间距离从无限远逐渐减少至 r_0 以前的过程,分子间的合力为引力,合力做正功,分子势能不断减小,其数值将比零还小,为负值。当分子间距离到达 r_0 以后再继续减小,分子作用的合力为斥力,在分子间距离减小过程中,合力做负功,分子势能增大。其数值将从负值逐渐变大至零,甚至为正值。

(4) 内能

物体中所有分子热运动的动能和分子势能的总和,叫做物体的内能。一切物体都是由不停地做无规则热运动并且相互作用着的分子组成,因此任何物体都是有内能的。物体的内能大小由质量、温度、体积和物态决定。

物体机械运动对应着机械能,热运动对应着内能。任何物体都具有内能,同时还可以具有机械能。让学生认识内能是所有分子热运动动能和分子势能之总和,而不是分子定向移动的动能。所以物体机械能增加时,内能不一定增加,但机械能与内能之间可以相互转化。

三、问题与练习解答

1. 物体是由大量分子组成的

1. 设薄膜的质量为 m 、密度为 ρ_1 、面积为 S 、厚度为 d ,盐水的密度为 ρ_2 。薄膜在盐水中悬浮,表明薄膜和盐水的密度相等, $\rho_1 = \rho_2$ 。又因为

$$\rho_1 = m/(Sd)$$

所以

$$d = m/(\rho_1 S) = \frac{36 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-2} \times 1.2 \times 10^3} \text{ m} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

2. (1) 设一滴油酸和酒精溶液中所含油酸的体积为 V ,

$$V = \frac{1}{75} \times \frac{6}{10^4} \text{ mL} = 8.0 \times 10^{-6} \text{ mL}$$

(2) 由图 7.1-4 中可知, 油酸大约占 108 个小格, 故油酸面积

$$S = 108 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ = 1.08 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

(3) 油酸分子的直径

$$d = \frac{V}{S} = \frac{8 \times 10^{-6} \times 10^{-6}}{1.08 \times 10^{-2}} \text{ m} \approx 7.4 \times 10^{-10} \text{ m}$$

3. 设阿伏加德罗常数为 N_A , 1 m^3 铜的物质的量为 n , 则

$$n = \frac{8.9 \times 10^3 \text{ kg}}{6.4 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}} = 1.4 \times 10^5 \text{ mol}$$

假设铜原子为球形, 其直径为 d , 则

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 = \frac{1}{n N_A}$$

$$\therefore d = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi n N_A}} = \sqrt[3]{\frac{6}{3.14 \times 1.4 \times 10^5 \times 6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} = 2.8 \times 10^{-10} \text{ m}$$

4. 设在标准状态下, 一个氧气分子所占的空间为 V , 分子间的平均距离为 r , 所以:

$$V = \frac{2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{mol}}{6.02 \times 10^{23}/\text{mol}} = 3.7 \times 10^{-26} \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{V} = \sqrt[3]{0.37 \times 10^{-25}} \text{ m} = 3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

2. 分子的热运动

1. 将一滴红墨水分别滴入等量的冷水和热水中, 你会发现, 热水变为一杯均匀的红水的速度快。也可向等量的冷水和热水中加入等量的红糖, 如不加搅动, 热水会较快变甜。

2. (1) 错误。利用普通显微镜不能观察到分子。我们观察到的布朗运动不是分子的运动, 而是由很多花粉分子或其他分子组成的固体微粒的运动。

(2) 错误。虽然固体微粒内部的分子有相互作用力, 但是这种相互作用力不会使固体微粒的运动状态改变。布朗微粒受到它周围的液体分子的碰撞, 从而使得它做无规则运动。

(3) 错误。胡椒粉是由于热水的对流而运动的, 而对流是靠宏观流动而实现的热传递过程, 在对流过程中伴有大量分子的定向运动。胡椒粉的翻滚是有一定规律的, 它不是布朗运动。

(4) 正确。小粒灰尘的无规则运动是由于受到煤油分子的碰撞而造成的。灰尘运动的无规则性, 说明煤油分子在做着无规则的运动。

3. (1) 当我们用无生命的炭粒做实验时, 也同样观察到了布朗运动, 这说明布朗运动与微粒是否有生命无关。

(2) 对流是靠宏观流动而实现的热传递过程, 在对流过程中伴有大量分子的定向运动, 所以, 我们见到的布朗运动不是由于对流产生的。

(3) 微弱的地震对每一个分子的力都是相同的, 每一个分子运动的变化就应有一定的规律, 而我们观察到的是杂乱无章的运动, 所以布朗运动不是由于微弱的地震引起的。

4. 小李的观点是错误的, 因为小张在坐标纸上画出的图不是小颗粒的运动轨迹, 他是将两时刻小颗粒的位置用直线连接起来的, 在两时刻之间小颗粒并不一定在这条直线上。

3. 分子间的作用力

1. 两个分子间的距离由小于 r_0 逐渐增大, 直至远大于 r_0 , 在这个过程可分成三个阶段。第一阶段, 由小于 r_0 逐渐增大到等于 r_0 的过程, 引力和斥力均减小, 斥力比引力减小得快。由于斥力大于引力, 斥力和引力的合力表现为斥力。第二阶段, 由 r_0 到引力最大的过程, 引力和斥力均减小, 斥力小于引力, 斥力和引力的合力表现为引力而且合力值逐渐增大。第三阶段, 由合力为引力最大值时两分子间的距离到 $10r_0$ 的过程, 斥力和引力均减小, 斥力仍比引力减小得快, 斥力小于引力, 斥力和引力的合力为引力但合力值逐渐减小。

2. 在拉断一根铅丝的过程中, 所用的力必须达到一定限度, 小于这个限度就不能把铅丝拉断。

3. 组成物体的分子之间是有空隙的, 用力压物体, 物体内分子间的距离缩小, 表现出物体具有可压缩性。随着分子间距离的缩小, 分子间的斥力会迅速增大, 当压缩到一定程度时, 斥力与外力平衡, 进一步压缩就很困难了。

4. 拉力大于玻璃板受到的重力。如果你观察一下玻璃板朝下的表面, 你会发现该面是湿的, 说明玻璃板离开水面时水层发生了断裂。为了使玻璃板离开水面, 除了克服板的重力, 还要克服水分子间的引力, 因此拉力就大于玻璃板的重力了。

4. 温度和温标

1. 在以上叙述中, 有两个地方涉及“平衡态”。第一处是金属块放在沸水中, 经过一段时间后, 这时金属块和沸水组成的系统温度相同, 处于平衡态, 这一系统也达到了热平衡。第二处是将金属块放入质量已知、温度已知的水中, 并用温度计测水温, 当水温不再升高, 这时金属块、水和温度计组成的系统温度相同, 处于平衡态, 这一系统也达到了热平衡。

2. 因为 $T = t + 273.15$, 所以,

对应于 27°C , $T = (273.15 + 27)\text{K} = 300.15\text{K} \approx 300\text{K}$

对应于 2.5K , $t = (2.5 - 273.15)^\circ\text{C} = -270.65^\circ\text{C}$

3. $X = kT$

用摄氏温度表示为: $X = k(273.15 + t)$ 。

4. t_1 点标在电流较大的温度上。因为在 t_1 点时电阻较小, 由于电路的电动势和内电阻不变, 根据闭合电路欧姆定律, 电流较大。

5. 内 能

1. (1) 弹簧无压缩也无伸长时, 即弹簧无形变时, 系统的弹性势能最小。

(2) 如果把弹簧拉长, 放开时小球的运动使系统的势能减小。如果把弹簧压缩, 放开时小球的运动使系统的势能也减小。因为不论弹簧被拉长释放还是压缩释放, 弹簧都将要恢复到原

长的状态(即势能最小的状态)。

如果系统不受外力,处于“稳定”状态,则系统的势能可以任意定,一般定为零。

2. 两个同种电荷的相互作用力为斥力,从无穷远处使它们之间的距离变为 r ,需有外力克服电场力做功,即电场力做负功,电势能增加。由于以无穷远处的电势能为零,所以这时电势能为正值。它们的运动趋势将使系统的势能变小。

两个异种电荷的相互作用力为引力,若从无穷远处使它们之间的距离变为 r ,这个过程电场力做正功,电势能减小。由于以无穷远处的电势能为零,所以电势能为负值。它们的运动趋势将使系统的势能变小。

3. 不对。物体的内能是物体内所有分子具有的动能和势能的和,而不是宏观物体具有的动能和势能的和。物体的内能仅与分子热运动的快慢和分子间的相对位置有关。

四、教学参考资料

(一) 概念、规律和背景资料

温度计和温标

最早的温度计是在1593年由意大利科学家伽利略(1564~1642)发明的空气温度计:一根麦秆那么粗的一端敞口的长玻璃管,另一端有一个核桃大小的玻璃泡(课本图7.4-1)。使用时使玻璃泡受热,然后把玻璃管插入水中。玻璃泡内的空气冷却后,水就上升到玻璃泡中,水在玻璃泡中上升的高度随玻璃泡内气体的温度而变化。由于这种温度计受大气压强等环境因素的影响,误差较大。后来伽利略的学生和其他科学家,在这个基础上反复改进,把玻璃管倒过来,把带色液体放进管内,把玻璃管封闭,把玻璃泡的体积缩小,在玻璃管上刻上刻度等,这样的温度计已具备了现在温度计的雏形。

此后,荷兰人华伦海特(1686~1736)在1709年利用酒精,在1714年又利用水银作为测温物质,制造了更精确的温度计。要测量温度,就要确定温标。华伦海特首先解决了这个问题。他把结冰的盐水混合物的温度作为零点,把人的正常体温作为另一个固定点,其间分为96等分,每一等分叫做1度。按照他的刻度,水的冰点定为32度,标准大气压下水的沸点定为212度,这就是华氏温标。用华氏温标表示的温度叫华氏温度,用 t_F 表示,单位叫华氏度,符号是 $^{\circ}\text{F}$ 。英、美国多采用华氏温度。

1730年,法国人列缪尔(1683~1757)认为水银的膨胀系数太小,不宜做测温物质,他专心研究用酒精作为测温物质的优点。他通过实验发现,若取含 $\frac{1}{5}$ 水的酒精的体积在水的冰点时为1000份,当达到水的沸点时体积变为1080份。因此他把水的冰点定为0度,水的沸点定为第二个固定点,其间分成80等份,每份为1度,所以水的沸点定为80度。这种温度计的标度叫做列氏温标,单位是 $^{\circ}\text{R}$ 。这种温标较多地为德国人采用。

1742年瑞典人摄尔修斯(1701~1744)创立了摄氏温标,亦称“百分温标”。他把水的冰点和沸点间等分为100份,每等分代表1度。起初他是把水的冰点定为100度,沸点定为0度,使用起来很不方便。八年之后,他的同事施勒默尔把规定颠倒过来,确立了现在使用的

摄氏温标。用摄氏温标表示的温度叫摄氏温度，用 t 表示，单位是摄氏度，符号是 $^{\circ}\text{C}$ 。世界科技界和工农业生产中，以及我国、法国等大多数国家多采用摄氏温标。

华氏温度 t_{F} 与摄氏温度 t 的换算关系为

$$t_{\text{F}} = 32 + \frac{9}{5}t, \text{ 或 } t = \frac{5}{9}(t_{\text{F}} - 32)$$

1848 年英国科学家威廉·汤姆孙（开尔文）（1824~1907）创立了热力学温标，亦称绝对温标。用热力学温标表示的温度叫做热力学温度（或绝对温度）。热力学温度用 T 表示，单位是开尔文，简称开，符号是 K，它是国际单位制中七个基本单位之一。为了只用一个固定点建立标准温标，1960 年第十一届国际计量大会规定水的三相点（冰、水、水蒸气平衡共存的温度）的热力学温度为 273.16 K。热力学温标的零点，即绝对零度，记为“0 K”。选水的三相点为定标点的优点是在实验装置中三相点可以长期维持在万分之一度内不变，同时三相点不牵涉到外界条件如大气压强等。在这样的规定下，水的冰点的绝对温度近似地等于 273.15 K。

为了统一摄氏温标和热力学温标，国际计量大会对摄氏温标作了新的定义，规定它由热力学温标导出。它的定义为

$$\{t\} = \{T\} - 273.15$$

$\{t\}$ 和 $\{T\}$ 分别表示摄氏温度和绝对温度的数值。这就是说，规定热力学温度 273.15 K 为摄氏温标的零点。

为了简化，可以取 -273°C 为绝对零度，这样就有

$$\{t\} = \{T\} - 273$$

在新的定义下，摄氏温标的零点与冰点并不严格相等，但相差甚微，两者在万分之一度内是一致的。

（二）联系生活、科技和社会资料

1. 纳米科学与技术

二十世纪末，诞生了一门崭新的学科——纳米科技，它的主要任务是研究纳米材料的性质和应用。其新颖独特的研究思路和首批研究成果的问世，在科技界引起巨大反响，受到广泛关注。专家预言，纳米科技将彻底改变目前的产业结构，成为未来信息时代的核心。许多国家已纷纷制定相关战略和计划，投入巨资抢占纳米技术战略高地。美国、日本、德国等国家均已把纳米技术列入国家科技战略开发重点。我国也已将其列入国家“攀登计划”“863 计划”和“火炬计划”。

纳米技术包含下列四个主要方面。

第一方面是纳米材料（或称超微粒子，尺度小于 100 nm 的粒子），包括材料的制备和表征。在纳米尺度下，物质中电子的波动性以及原子的相互作用将受到尺寸大小的影响。如能得到纳米尺度的结构，就可能在不改变物质化学成分的情况下控制材料的基本性质，如熔点、磁性、电容甚至颜色等。纳米材料具有异乎寻常的性能。用超微粒子烧成的陶瓷，硬度可以更高，但不脆裂；无机超微粒子加入到橡胶中后，将粘在聚合物分子的端点上，由此做成的轮胎将大大减少磨损、延长寿命。

第二方面是纳米动力学（nanodynamics），主要是微机械和微电机，或总称为微型电动机系统（MEMS）。这主要用于有传动机械的微型传感器和执行器、光纤通讯系统、特种电子