

全国中小学教材审定委员会2005年
初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

(选修 3-3)

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组 编著

广东教育出版社



普通高中课程标准实验教科书

物理

(选修3-3)

W U L I

主 编: 保宗悌

副 主 编: 布正明 王笑君

本册主编: 程志文

本册编者: 云冠全 王笑君 布正明 张书良

陈少强 保宗悌 程志文 韩思民

(以姓氏笔画为序)

绘 图: 李德安

普通高中课程标准实验教科书

物 理

(选修 3-3)

广东基础教育课程资源研究开发中心

物理教材编写组 编著

*

广东教育出版社出版

(广州市环市东路472号12-15楼)

邮政编码: 510075

网址: <http://www.gjs.cn>

广东省新华书店发行

阳江市教育印务公司印刷

(阳江市东风三路45号)

890毫米×1240毫米 16开本 5.75印张 110 000字

2005年7月第1版 2006年7月第3次印刷

ISBN 7-5406-5894-0/G·5232

定价: 6.56元

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如有印装质量或内容质量问题, 请与我社联系。

联系电话: 020-87613102

生活和生产中大量实验证明,当物体的温度发生变化时,物体的许多性质都会随之发生变化.与物体温度有关的现象称为热现象.科学研究结果表明,一切热现象,例如,物体的热膨胀,物质的溶解和凝固、液化和汽化、气体压强的变化,等等,都是组成物体的大量微观粒子的无规则运动在总体上的宏观表现.热学研究热现象的规律,是物理学的一个重要部分.

研究热现象有两种不同的方法.一种是根据观察和实验,从宏观上总结热现象的规律.另一种从物质的微观结构出发,建立分子的动理论,用统计的方法说明宏观物体的热现象.这两种方法相辅相成,使人们对热现象的研究越来越深入.

本书内容包括分子动理论与统计思想、固体、液体和气体、热力学定律与能量守恒、能源与可持续发展等四个主题.通过本书的学习,同学们可以进一步探讨分子世界的奥秘,了解固体和液晶的微观结构,了解气体的实验定律,了解热力学基础知识,认知能源和环境与人类生存的关系,知道可持续发展的重大意义,体会研究热现象的科学方法.

热学的发展与人类文明进步是密切相关的.本书在教材如何反映现代科学技术成果和贴近生活两个方面作了积极的尝试.教材内容在精选中学物理热学基础知识的基础上,介绍了许多与热学相关的现代科学技术成果.在固体材料中介绍了半导体材料、磁存储材料、纳米材料和纳米技术;在液晶中介绍了薄膜晶体管液晶显示器(TFTLCD)及其作用;在能源与可持续发展中介绍了控制温室效应和防治酸雨的对策和措施.在选取例题和习题时,有意识地联系生活中的具体事例,例如在压强计算中选取气压式暖水瓶、高压锅安全阀,在气体实验定律应用中选取喷雾器,在“实践与拓展”栏目中选取了同学们可以就地取材完成的趣味物理实验.

在教学手段上,引入了数字化信息系统实验室(DISLab系统),并通过我们的网站(physics.scnu.edu.cn/gzw1)和配套光盘提供更多的教育资源.同学们在学习本书的过程中,应该结合课程开展研讨性学习活动,领略自然界的奇妙,体会科学精神和热学发展对人类生活和社会发展的影响,拓展学习视野,提高收集和处理信息的能力.

为了使教材有利于探究性学习,本书保留了本系列教材中“实验与探究”、“讨论与交流”、“观察与思考”、“实践与拓展”、“资料活页”等几个特色栏目.突出教学过程中同学们的主动学习和积极参与.例如在演示实验的处理上,强调同学们要动脑、动手、动口,强调要实时观察实验,记录实验现象和数据,解释实验事实,相互交流,彼此促进,从中体现科学探究过程的艰辛和成功的喜悦.

爱因斯坦曾经说过:“人类一切经验和感受中,以神秘感最为美妙.这是一切真正艺术创作及科学发明的灵感源泉.”

祝愿同学们在学习中始终保持对自然的神秘感,努力探究热学的奥秘,领略科学的伟大和力量,取得丰富的学习成果.

目录

第一章 分子动理论	1
第一节 物体是由大量分子组成的	2
分子的大小	2
阿伏加德罗常数	2
第二节 测量分子的大小	5
实验原理	5
实验器材	5
实验与收集数据	6
分析与论证	6
第三节 分子的热运动	8
扩散现象	8
布朗运动	8
第四节 分子间的相互作用力	11
第五节 物体的内能	14
分子的动能 温度	14
分子势能	14
物体的内能	15
第六节 气体分子运动的统计规律	16
分子沿各个方向运动的机会相等	16
分子速率按一定的规律分布	17
第二章 固体、液体和气体	25
第一节 晶体的宏观特征	26
单晶体	26
多晶体	27
非晶体	27
第二节 晶体的微观结构	29
第三节 固体新材料	31
新材料的基本特征	31
新材料的未来	32
第四节 液体的性质 液晶	35

液体分子的排列	35
液体分子的热运动	35
液晶	36
长丝状液晶	36
螺旋状液晶	36
第五节 液体的表面张力	39
液体的表面现象	39
液体的表面张力及其微观解释	40
第六节 气体状态参量	42
体积	42
温度	42
压强	43
第七节 气体实验定律 (I)	46
玻意耳定律	46
第八节 气体实验定律 (II)	50
查理定律	50
盖·吕萨克定律	52
对气体实验定律的微观解释	52
第九节 饱和蒸汽 空气的湿度	54
饱和蒸汽	54
饱和汽压	54
空气的湿度	55

第三章 热力学基础..... 61

第一节 内能 功 热量	62
改变物体内能的两种方式	62
第二节 热力学第一定律	66
热力学第一定律	66
热力学第一定律应用举例	66
第三节 能量守恒定律	69
能量守恒定律	69
第一类永动机是不可能造成的	69
第四节 热力学第二定律	73
热传导的方向性	73
机械能和内能转化过程的方向性	73
热力学第二定律	74
热力学第二定律的微观实质	75
熵	75
第五节 能源与可持续发展	77
能源与环境	77
温室效应	78
酸雨	79
能量降退与节约能源	79
第六节 研究性学习 能源的开发利用与环境保护	81

第一章

分子动理论

通过学习初中物理，同学们已经初步了解分子动理论的基本观点，知道物体是由大量分子组成，分子间有间隙，分子在不停地做热运动，分子间有相互作用力。在本章的学习中，我们将进一步探讨分子世界的奥秘，你将获得进入分子世界的线索，了解到分子质量究竟有多大，分子直径到底微小到什么程度，物体内分子的数目是如何大得惊人，还将亲自动手测量分子的大小……初步了解分子动理论是如何通过建立简化模型和应用统计思想，从微观角度说明宏观物体热现象的方法。



第一节 物体是由大量分子组成的

物体是由大量分子组成的，分子是构成物质并保持物质化学性质的最小微粒。有些物质的分子只包含一个原子，有些物质的分子包含多个原子，一些有机大分子包含上百个甚至上千个原子。

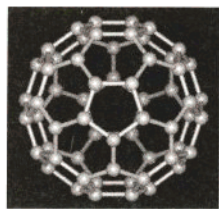


图 1-1-1 C_{60} 分子示意图

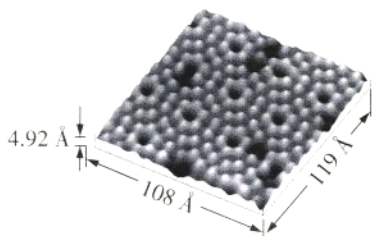


图 1-1-2 硅晶体表面原子的排列



图 1-1-3 双螺旋结构的 DNA 分子模型

分子的大小

专业术语

扫描隧道显微镜

Scanning tunneling telescope

组成物质的分子是很小的，不但用肉眼不能直接看到它们，用普通的光学显微镜和电子显微镜都观察不到分子。20 世纪 80 年代，人们研制成能够放大上亿倍的扫描隧道显微镜 (STM)。用这种显微镜能观察到单个的分子或原子。图 1-1-2 是用扫描隧道显微镜拍摄的硅晶体表面的原子排列图。

分子的大小可以用实验方法来测量，测量结果表明，如果把分子看成小球，除了一些有机物质的大分子外，一般分子的直径的数量级为 10^{-10} m。例如，水分子的直径约为 4.0×10^{-10} m，氢分子直径约为 2.3×10^{-10} m，如果拿水分子跟乒乓球比较大小，就好像拿乒乓球与地球比较大小一样，两者相差太悬殊了。

阿伏加德罗常数

专业术语

阿伏加德罗常数

Avogadro constant

1 mol 物质所含有的粒子数为阿伏加德罗常数，用符号 N_A 表示，一般物体中分子的数目都是庞大得惊人的。阿伏加德罗常数是一个十分巨大的数字，科学工作者在 1986 年用 X 射线法测得阿伏加德罗常数的精确数值为

$$N_A = 6.0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

在通常的计算中可取 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ，在粗略的计算中可取 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。为了使同学们对微观世界的规模有一个具体概念，我们不妨举两个例子来说明。1 mol 水的质量是

$18 \times 10^{-3} \text{ kg}$, 大约是我们喝一口水的质量, 换句话说, 我们喝下一口水, 就喝下了 6.0×10^{23} 个水分子, 如果动员全世界 60 亿人来数这些分子, 每人每秒数一个, 300 万年也数不完; 1 cm^3 水中含有 3.3×10^{22} 分子, 假如把 1 cm^3 水中所有水分子一个挨一个地排列成一条直线, 这条直线将长达 100 亿千米, 可绕地球 24.9 万圈。

阿伏加德罗常数是一个重要的常数, 它是联系微观量和宏观量的桥梁, 通过下面的分析可以看到, 阿伏加德罗常数把物体的体积 V 、摩尔体积 V_m 、物质的质量 m 、摩尔质量 M 、物质的密度 ρ 等宏观物理量和分子体积 V_0 、分子直径 d 、分子质量 m_0 等微观物理量都联系起来了。

下面计算水分子的质量和大小:

已知水的摩尔质量 $M = 18 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, 1 mol 水含有 $N_A = 6.0 \times 10^{23}$ 个水分子, 水分子质量

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{M}{N_A} \\ &= \frac{18 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{6.0 \times 10^{23}} = 3.0 \times 10^{-26} \text{ kg} \end{aligned}$$

可见水分子的质量是很小的, 实际上, 除了包含几千个原子的有机物质的大分子外, 一般分子的质量都是很小的。例如, 氧分子质量是 $5.6 \times 10^{-26} \text{ kg}$, 氢分子质量是 $3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。

由水的摩尔质量 M 和密度为 ρ , 可得水的摩尔体积

$$V_m = \frac{M}{\rho}$$

把水分子看作是一个挨一个紧密地排列的小球, 1 个水分子的体积为

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{V_m}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} \\ &= \frac{18 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{1.0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} = 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

每个水分子的直径为

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3}{3.14}} \approx 4.0 \times 10^{-10} \text{ m}$$

通过计算可知, 分子直径的数量级是 10^{-10} m , 一根头发的直径的数量级是 10^{-5} m , 分子直径仅仅是头发直径的十万分之一, 可见分子确实是极其微小的。

在上面的讨论中, 我们用阿伏加德罗常数计算分子的质量和大小, 反过来, 知道分子的质量和分子的大小, 怎样算出阿伏加德罗常数呢? 同学们可应用上面的数据自行计算。



讨论与交流

1. 什么是数量级?
2. 我们知道分子间有间隙, 分子内部也有复杂的内部结构,

为什么在估算分子的大小时，可以把固体和液体的分子看作一个挨一个紧密排列的小球呢？

练习

1. 某种固体物质的摩尔质量为 M ，密度为 ρ ，试写出这种物质的分子的质量、分子直径、每立方米包含的分子数的表达式。
2. 已知铜的密度为 $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，摩尔质量为 $64 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$ ，试估算铜分子的直径（取两位有效数字）。
3. 已知标准状态下任何气体的摩尔体积都是 $22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$ ，试估算标准状态下水蒸气分子的间距约是水分子直径的多少倍。

第二节 测量分子的大小

这节课我们应用油膜法来粗略测定分子的大小，同学们要通过实验收集和处理数据，估测油酸分子的大小的数量级，体会通过测量宏观量估算微观量的方法。

实验原理

分子的直径的数量级只有 10^{-10} m，想直接测量分子的大小是不容易的，那么，能不能通过测量某些宏观量的数值来估算分子的大小呢？如果想办法让大量分子充分展开形成一层单分子层，这个单分子层的厚度的数量级就应当与分子大小的数量级相同；如果又能测出这一单分子层的体积和面积，就可以估算出单分子层的厚度，测量分子大小数量级的问题不就解决了吗？

油酸为无色或淡黄色油状液体，油酸分子可以看成由两部分组成，即一个较大的“头部”（烃链 $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$ —）和一个很小的“尾巴”（羧基— COOH ），“头部”不溶于水，但“尾巴”对水有很强的亲和力，把一滴油酸酒精溶液滴入水中，让油酸分子充分展开，油酸分子就会竖起来，“头部”露出水面，而“尾巴”则留在水中，油酸分子就这样一个挨一个整齐地紧密排列在水面上，形成单分子层油膜，如图 1-2-1 所示，由于它的“尾巴”很小，只要测算出一滴溶液中纯油酸的体积 V 和在水面形成的油膜面积 S ，就可根据 $L = \frac{V}{S}$ 估测出分子的大小。

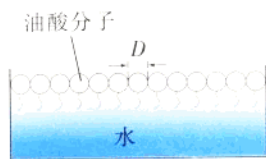


图 1-2-1

实验器材

表 1-2-1

序号	器 材 名 称	备 注
1	已稀释的油酸若干毫升	体积配比为 1:200
2	浅盘 1 只	30 cm × 40 cm
3	注射器（或滴管）1 支	
4	带方格的透明塑料盖板 1 块	
5	量筒 1 个	
6	彩色水笔 1 支	
7	痱子粉（或石膏粉）	带纱网或粉扑

实验与收集数据

1. 如图 1-2-2 所示, 用注射器 (或滴管) 将稀释的油酸滴入量筒, 数出每毫升溶液的滴数, 求出每滴液滴体积的平均值.



图 1-2-2



图 1-2-3

2. 如图 1-2-3 所示, 在水平放置的浅盘倒入约 2 cm 深的水, 用纱网 (或粉扑) 将适量痱子粉轻轻洒在水面上.

3. 如图 1-2-4 所示, 用滴管将一滴油酸溶液轻轻滴入水面中央, 待油膜形状稳定后, 在浅盘上盖上塑料盖板, 用彩笔描出油膜的边缘轮廓, 如图 1-2-5 所示.

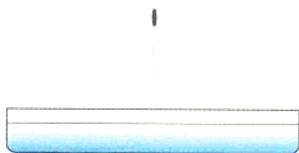


图 1-2-4

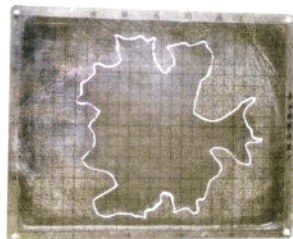


图 1-2-5

4. 估测油膜面积, 估算油酸分子的直径.

5. 洗净浅盘, 擦去塑料盖板上的油膜轮廓线, 重复实验 2~3 次.

分析与论证

1. 数据处理

实验中油酸溶液的体积配比为____, 每 1 mL 溶液有____滴, 每滴溶液中含有纯油酸体积为____ mL.

将实验数据填入自己设计的表格中, 然后进行计算.

2. 实验结论

油酸分子的直径约为_____

讨论与交流

1. 在实验中能不能直接把纯油酸滴在水面上，为什么要稀释油酸？酒精的作用是什么？

2. 油酸分子大小的理论值是 $1.12 \times 10^{-9} \text{ m}$ 。你认为自己的实验是否准确测出了油酸分子的大小？产生误差的主要原因是什么？对实验结果关注的是测出的数值还是数量级？

3. 本实验能否测出阿伏加德罗常数？

第三节 分子的热运动

物体内的分子都在不停地做无规则运动，运动的剧烈程度与物体的温度有关。分子动理论这一基本观点同样是建立在广泛的实验事实的基础上的。

扩散现象



讨论与交流

在室内打开一瓶乙醚的瓶盖，很快就会在整个房间内闻到乙醚的气味；

往一杯清水中滴入一滴红墨水，隔一段时间后，就会发现整杯清水都变成了红色；

使一块铅和一块金相互接触，经过一段足够长的时间，就会发现在很薄的一层接触面处，铅块内渗入了少量的金，金块内渗入了少量的铅。

在上述几种现象中，都发生了物质的迁移，你能说明其中的原因吗？

物理学中把由于分子的无规则运动而产生的物质迁移现象称为**扩散现象**。上述现象表明，气体、液体、固体都可以进行扩散。物体的分子能够向周围区域进行扩散，显然不是由于重力的作用，而只能是分子本身无规则运动的结果。

专业术语

布朗运动

Brownian motion

布朗运动

对分子做无规则运动的更有力的实验证明就是著名的布朗运动实验。



观察与思考

实验装置如图 1-3-1 所示，把一滴墨汁用水稀释，滴一滴在一块带有细微方格的玻璃板上，把玻璃板放在显微镜下，观察某一颗小炭粒的运动。用一个投影仪把影像投影到银幕上观察更好。在一张坐标纸上每隔 10 s 记录一次小炭粒的位置。

作图：把小炭粒的位置用线段连接起来，得到一条折线。

分析：从上面的折线来看，小炭粒的运动是有规则的还是无规则的？

思考：小炭粒为什么会运动？而且运动的方向还在不断地改变？

水中的悬浮微粒不停地做无规则运动的现象，是1827年英国植物学家布朗用显微镜观察悬浮在水中的花粉时发现的，后来人们把悬浮在液体或气体中的微粒的这种无规则运动叫做**布朗运动**。

布朗运动究竟是怎么产生的？

开始时，人们以为是外界因素，比如液体受到震动或对流等引起的，但在尽量消除外界因素影响的实验条件下，布朗运动仍然存在。布朗运动的起因问题困扰了人类大半个世纪，直到1905年，爱因斯坦才从理论上解释了布朗运动。他认为布朗运动是大量液体分子对悬浮微粒的不平衡撞击引起的，是大量液体分子不停地做无规则运动所产生的结果。

悬浮在液体中的微粒周围存在大量做无规则运动的液体分子，它们不停地对悬浮微粒进行撞击，如图1-3-2所示。由于液体分子运动的无规则性，在任一瞬间，从不同方向撞击悬浮微粒的液体分子数目各不相同，碰撞的冲击力也不一样，有时沿某一方向的撞击较强，粒子就顺着这一方向运动；当另一方向的撞击较强时，粒子就会改变运动方向。由于液体分子运动的无规则性，因此使粒子受较强撞击的方向是偶然性的，所以布朗运动是无规则的。我们观察到的悬浮微粒的无规则运动，实际上间接地反映了液体内部的分子在不停地做无规则的运动。

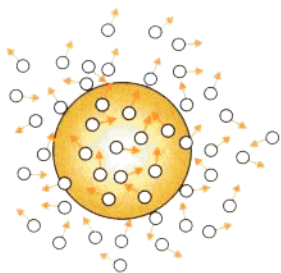


图 1-3-2 一个微粒每秒大约要受到它周围液体分子 10^{21} 次的碰撞



图 1-3-1 观察炭粒运动的实验装置及投影图



讨论与交流

在布朗运动实验中可以发现，较大的悬浮颗粒不能发生布朗运动，悬浮微粒越小，布朗运动就越明显。你能解释上述现象吗？

在扩散现象和布朗运动的实验中还表明,温度越高,分子的扩散越快,悬浮微粒运动就越激烈.这表明物体的温度高低是与内部分子无规则运动的剧烈程度直接相关的,温度越高,分子的无规则运动越剧烈.因此,物理学中把物体内部大量分子的无规则运动称为热运动.



实践与拓展

搜集有关布朗运动发现的历史和历史上对布朗运动解释的争论的资料.

专业术语

热运动

thermal motion



我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

视频材料: 布朗运动



练习

- 有人说布朗运动就是分子的运动,这种说法对吗?为什么?
- 在有关布朗运动的说法中,下面说法正确的是 ().
 - 液体温度越低,布朗运动越明显
 - 液体温度越高,布朗运动越明显
 - 悬浮微粒越小,布朗运动越明显
 - 悬浮微粒越大,布朗运动越明显
- 关于布朗运动和扩散现象的说法正确的是 ().
 - 布朗运动和扩散现象都能在气体、液体和固体中发生
 - 布朗运动和扩散现象都是分子的运动
 - 布朗运动和扩散现象都是温度越高越明显
 - 布朗运动和扩散现象都是永不停息的

第四节 分子间的相互作用力

要把一根金属棒拉断，需要用很大的拉力，这一现象使我们很自然地猜想分子之间存在着相互吸引的力，分子间存在引力的事实可以用一个简单的实验来证明。

观察与思考

取两段直径为 2 cm 左右的铅柱，把它们的断面切平磨光，然后立即用力把两个光滑的面对齐压紧，这两段铅柱就连接在一起了，而且下端可以吊起 1 kg 或者更重的物体（如图 1-4-1 所示）。

思考：

为什么要把铅柱断面切平磨光并且用力压紧，两段铅柱才会连接在一起？改用两段铁柱行不行？

以上实验说明，物体的分子间有相互吸引力，而且吸引力发生作用的距离很小，正是这种引力作用，才使得大量分子聚集在一起形成固体和液体。

我们还知道，固体和液体是很难压缩的，即使是气体，当压缩到一定程度后也很难继续压缩，这些现象说明分子之间除了吸引力以外还存在排斥力，进一步的研究结果表明，排斥力发生作用的距离比吸引力发生作用的距离要小得多。

研究表明，分子间的引力和斥力是同时存在的，它们的大小都跟分子间的距离有关，图 1-4-2 的两条虚线分别表示两个分子间的引力和斥力随距离变化的情形，实线表示引力和斥力的合力即实际表现出来的分子力随分子间距变化的情形。

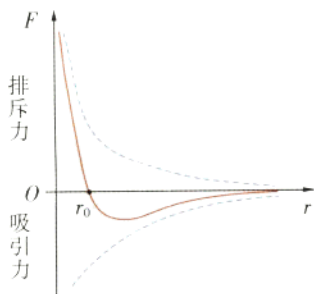


图 1-4-2 分子间的作用力跟距离的关系（示意图）



图 1-4-1 两段铅柱间的分子引力足以吊起 1 kg 重物

从图中可看出，分子间的引力和斥力都随着分子间距离的增大而减小，当分子间的距离等于 r_0 时，分子间的引力和斥力相