



上海科技教育出版社欢迎广大师生来电来函指出教材的差错和不足, 提出宝贵意见。

上海科技教育出版社地址: 上海市冠生园路 393 号。

邮政编码: 200235。

联系电话: 021-64367970 转 202 分机。

传真电话: 021-64702835。

网址: www.sste.com。

邮件地址: office@sste.com。

ISBN 7-5428-3743-5



此书如有印、装质量问题, 请向本社调换
上海科技教育出版社 电话: 64367970

普通高中课程标准实验教科书

物理 3-3

选修 3-3

世纪出版集团 出版发行
上海科技教育出版社

(上海冠生园路 393 号 邮政编码 200235)

各地新华书店经销 上海书刊印刷有限公司印刷

开本 890 × 1240 1/16 印张 7.25

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5428-3743-5/G · 2188

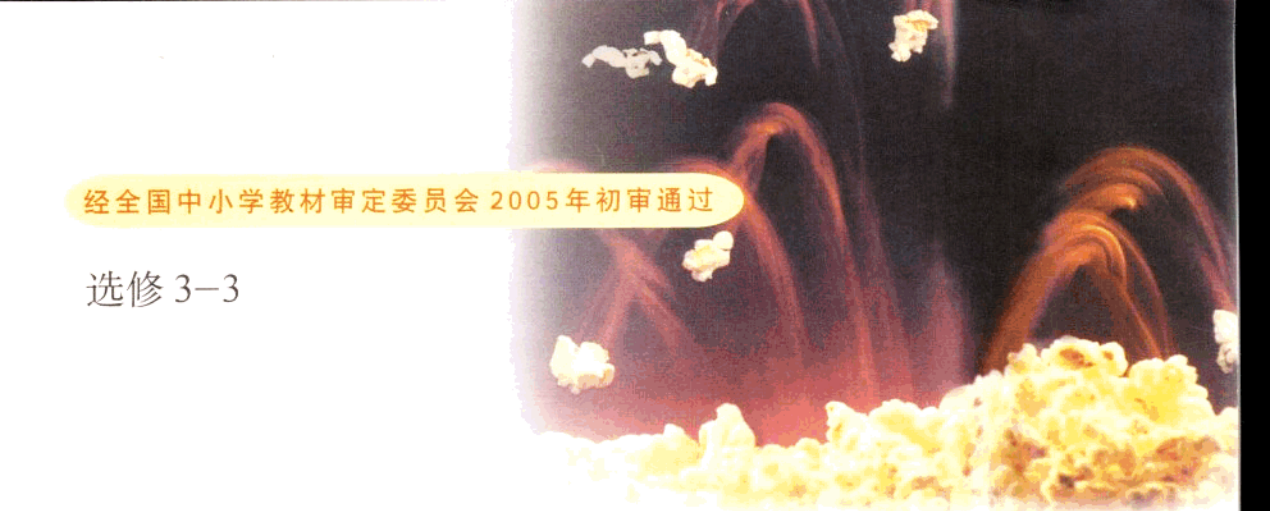
定价: 9.25 元

批准文号: 沪价商专(2005)18 号 举报电话: 12358

常用热学量的 SI 单位					
热学量		单位			备注
名称	符号	名称	中文符号	国际符号	
热力学温度	T	开[尔文]	开	K	$T = t + 273.15 \text{ K} \approx t + 273 \text{ K}$
体积	V	立方米	米 ³	m ³	
压强	p	帕[斯卡]	帕	Pa	1atm = 76 cmHg = $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
绝对湿度	p	帕[斯卡]	帕	Pa	
表面张力	F	牛[顿]	牛	N	
表面张力系数	α	牛每米	牛/米	N/m	

本书主要公式

玻意耳定律	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$ 或 $p_1V_1 = p_2V_2$
查理定律	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$
盖·吕萨克定律	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
理想气体状态方程	$\frac{pV}{T} = C$ 或 $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$
克拉珀龙方程	$pV = \frac{m}{M} RT$
相对湿度	$B = \frac{p}{p_s} \times 100\%$
表面张力	$f = \alpha L$
热力学第一定律	$\Delta U = W + Q$
理想热机的效率	$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$



经全国中小学教材审定委员会 2005 年初审通过

选修 3-3

普通高中课程标准实验教科书

物理 3-3

PHYSICS

主 编 束炳如 何润伟

上海科技教育出版社

亲爱的同学：

欢迎你选择学习物理 3-3!

通过物理必修模块和物理 3-1、3-2 的学习,你已对力学和电磁学的基本内容及其应用有了许多的了解。现在,你又将跨入热学研究的大门。在这里,你将进一步探索分子动理论,用统计的观点去认识分子运动的一些宏观表现,探究固体、液体与气体的性质,较全面地认识热现象的规律,理解能源开发与可持续发展的重要意义。在这个基础上,你将能较充分地认识热学研究与社会发展及人类文明的互动关系,你的才智也将在科学探究和理论思维的过程中得到充分的施展。

为了让你在学习物理 3-3 的过程中获得更大的成功,请浏览以下的本书栏目介绍。



图 3-1-10 荷叶上的水珠呈球形



图 3-1-11 水黾在水面上“亭亭玉立”



图 3-1-12 硬币在水面上“亭亭玉立”

3.2

研究液体的表面性质

为什么荷叶上的露珠总是那样晶莹透亮?为什么有的昆虫能在水面上“亭亭玉立”?为什么互相接触的铅块能压成球形?……当你看到这些有趣的现象时,你想过这些问题吗?

每章的开头都有一些情景,都会提出一些问题,你知道怎样研究与解决这些问题吗?

实验探究

这里将要求你提出问题,设计实验方案,动手做一些有趣的实验,进行科学探究。你得到的回报是探索科学奥秘的喜悦。

实验探究 开尔文板模拟分子的无规则运动

图 1-11a 所示的装置称为开尔文板。在一块平板上均匀地分布着许多钉子,平板下方有一木槽,槽内有许多小球。实验时,先让一小球从平板上方下落,在下落过程中这个小球跟钉子碰撞碰撞,最后落到槽内的某个小格中;然后再让一小球下落,最后它可能落到另一个小格,多次重复这样的操作,我们可以发现,一个小球跟钉子碰撞后落到哪一个小格完全是无法预料的,也就是说,小球落入某个小格完全是一个随机的偶然事件。如果让许多多小球落下去,那么可以看到,有些小格中落入的小球多,另一些小格中落入的小球少,多次重复操作可以发现,槽中各小格中落入的小球数目有着一定的分布规律——始终是中间的小格多,两边的小格少,如图 1-11b 所示。

如果把小球看成分子,它们落入槽中不同的小格,对应着分子不断碰撞后获得的速度大小,那么,从开尔文板的实验中可



多学一点 理想气体状态方程

将关于气体状态的三个实验定律归纳一下,可知:

一定质量的某种理想气体在不同状态时,其压强和体积的乘积与热力学温度的比值是不变的。这个结论叫做一定质量的理想气体的状态方程。用公式可表示为

$$\frac{pV}{T} = C \text{ (恒量)} \quad (1)$$

$$\text{或} \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (2)$$

为了确定恒量 C ,可用 1mol 的任何气体作为研究对象。在标准状态下,即 $p_0 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$, $T_0 = 273 \text{ K}$ 时,取摩尔体积 $V_m =$

多学一点

这里有更多的奥秘,你愿意去探索吗?

分析论证

在这里,你将经历分析、综合、应用数学工具进行推理、得出物理学规律和公式的过程,体会到物理学理论思维的魅力。

如果用 p_1, V_1 和 p_2, V_2 分别表示一定质量气体在等温过程中任意两个状态的压强和体积,那么玻意耳定律可以用公式表示为

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad \text{或} \quad p_1 V_1 = p_2 V_2$$

在平面直角坐标系中,用纵坐标表示压强 p ,用横坐标表示体积 V ,则 $p-V$ 图像是如图 2-8 所示的双曲线,这条双曲线叫做等温线(isotherm)。一定质量的气体,对于不同的温度,有着不同的等温线,但它们都是双曲线,如图 2-9 所示。

思考一下,在图 2-9 中,为什么温度越高,等温线就越往上移?

玻意耳定律的微观解释

分析论证

玻意耳定律当然是在实验基础上归纳出来的一条反映理想气体状态变化的宏观规律,但它在微观上有着本质的原因。

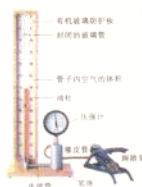


图 2-7 探究等温过程的实验装置

课题研究

用 DIS 研究气体压强与体积的关系

实验主要器具如图 2-11 所示。

操作步骤:

1. 将压强传感器接入数据采集器。点击软件主界面上的实验题目“气体压强与体积的关系”,打开软件。

2. 移动针筒的活塞,选定初始体积(如 12 mL),并把针筒通过软管与压强传感器的测试口紧密连接。

3. 输入当前体积 $V = 12$ mL,点击“数据记录”,记下气体

体积为 12 mL 时对应的压强数据,改变针筒内气体的体积,输入体积读数,同样点击“数据记录”,记录相应的压强数据。

4. 重复上述实验,记录几组数据,点击“绘图 V ”,得到与

各体积读数相对应的压强与体积的一组数据,如图 2-12 所示。



图 2-11 研究气体压强与体积关系的 DIS 实验主要器具



图 2-12 DIS 得出的 $p-V$ 图像

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究,这种研究将让你经历激动人心的探索,使你的才智得到充分的展示。

家庭作业与活动

这里为你提供了丰富多彩的学习活动,让你通过回顾进行自我评价,使你体验到成功的喜悦。

课题研究

1. 考察你的家庭与学校,记录你在生活和学习中必须用到哪些形式的能量,它们是通过什么样的设备以什么形式的能量转化来的。
2. 根据你的观察,画出你所观察到的能量转化示意图,以正能量的流动向上为箭头,画出能量转化,记录下所用的时间。
- (1) 画出你在跑楼梯时体内能量的转化示意图,这期间发生了什么样的能量转化?
- (2) 画出以汽车为例的能量转化示意图,画出从

3. 考察从能量转化与守恒定律的角度去认识总电路欧姆定律和法拉第电磁感应定律。
4. 根据手电筒的结构,画出它工作时的能量转化示意图。
5. 图 4-13 是一个现代的热核聚变发电厂的运行流程图,请从能量的角度分析各生产部门(燃烧室、锅炉、汽轮机、发电机、冷凝器)之间的能量转化或转移的情况。

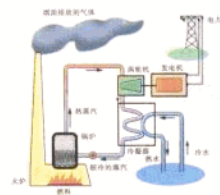


图 4-13 热核聚变发电厂运行流程图

信息浏览、STS 栏目

这里为你提供了各种有趣、有用的资料,包括物理学史上的经典事例、科学家小故事等,反映了物理学与科学、技术、社会的紧密联系。你的视野将更开阔,你会更加热爱科学。



图 5-19 燃料电池工作原理图

几种新能源

燃料电池

燃料电池是氢气、天然气、煤气、甲醇、醇类燃料的化学能直接转化为电能的一种化学装置。

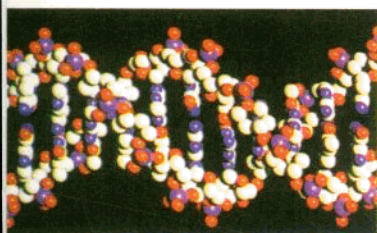
早在 1839 年,英国科学家戴维(即 H. G. Davy)就提出了燃料电池的原理。如图 5-19,它的主要部件是两个电极和电解质。在正极(燃料电池),氢气在催化剂作用下分解成氢离子(质子)和电子,其中氢离子通过电解质流到负极

(氧气电极),而电子不能通过电解质,只能通过外电路,这样就形成了电流。如果通过外电路,氢离子和电子就会结合成水,从正极流到负极,在那里同氢离子结合后,与氧气发生反应,生成水并释放出热量。

燃料电池构造简单,能量利用率高,工作稳定,理论上,应用于汽车时燃料电池可以把燃料能量的 60%—70% 转化为电能,更优于汽

目 录

第 1 章 用统计思想研究分子运动 6



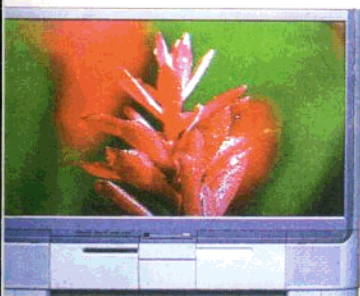
- 1.1 一种新的研究方法 7
- 1.2 走进分子世界 11
- 1.3 无序中的有序 16
- 1.4 用统计思想解释分子运动的宏观表现 20
- 1.5 物体的内能 24

第 2 章 气体定律与人类生活 28



- 2.1 气体的状态 29
- 2.2 玻意耳定律 32
- 2.3 查理定律和盖·吕萨克定律 36
- 2.4 空气的湿度与人类生活 40

第 3 章 固体、液体与新材料 48



- 3.1 研究固体的性质 49
- 3.2 研究液体的表面性质 54
- 3.3 液晶与显示器 60
- 3.4 半导体材料和纳米材料 64

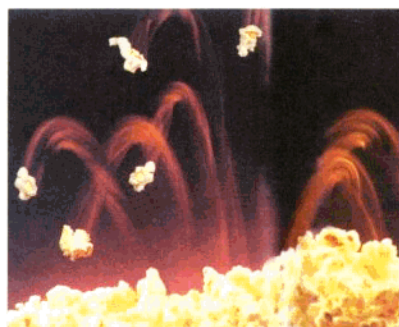
第 4 章 热力学定律与能量守恒 72

4.1 热力学第一定律 73

4.2 能量守恒定律发现的历程 77

4.3 热力学第二定律 83

4.4 描述无序程度的物理量 88



第 5 章 能源与可持续发展 94

5.1 能源利用与环境污染 94

5.2 能源开发与环境保护 100

5.3 节约能源、保护资源与可持续发展 106



总结与评价 课题研究成果报告会 111

研究课题示例 111

评价表 112

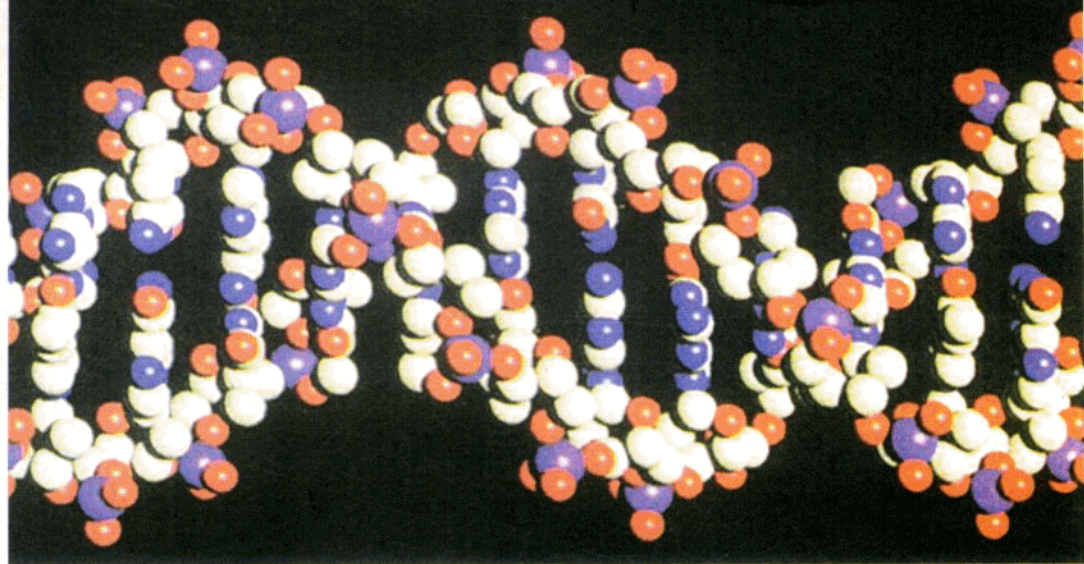


图 1-1 DNA(脱氧核糖核酸)大分子结构图

第 1 章

用统计思想研究分子运动

1827 年,英国植物学家布朗(R. Brown)在研究一种花粉的繁殖过程时注意到,悬浮在水中的花粉颗粒在不停地跳着一种毫无规则的舞蹈,就像“活的”一样。但他后来发现,没有生命的微粒在水中也会做这种杂乱无章的运动。作为植物学家,他无法解释这种现象,然而,当时的物理学家对此也大惑不解。

悬浮微粒为什么会不停地做着这种杂乱无章的运动呢?这种运动是否就是人们梦寐以求的分子运动?

组成物质的分子究竟有多大?

大量分子的运动有什么特点?

如何研究大量的分子的运动?

物质分子的微观运动在宏观上是何表现?

本章将承接初中物理对物质分子及其运动的初步认识,进一步以统计思想和能量的观点为主线贯穿各节内容。首先通过实例和活动,体会一种新的研究方法;接着,用统计方法定性探究分子运动速率的统计分布规律,并结合分子动理论用统计思想阐释物体温度和气体压强的微观意义;最后,研究由分子运动和分子间相互作用决定的另一种形式的能——内能。

1.1

一种新的研究方法

在日常生活中,人们常用“可能性”、“偶然性”等词来描述事先无法确定的事件。你在使用这些词时,有没有对它们进行过仔细的研究呢?你是否了解它们的真正含义呢?

从降水概率谈起

气象台的天气预报,除了报告未来几天的天气状况、气温变化外,还有“降水概率”。这个“降水概率”表示什么意思呢?

“降水概率”是气象的专业用语,它是指下雨可能性的多少。如果在气象台以往的气象记录中,有 100 天的天气变化情况跟今天的相似,而且通过计算机运算,又发现这 100 天中有 70 天的次日会下雨,于是气象台预报说:“明天的降水概率是 70%。”这意味着明天有七成可能会下雨。

概率反映的不是一种必然结果,它是在大量资料的基础上,对不确定事件做出的一种估计,资料越丰富、越全面,估计就越可靠。

在数学上,把发生某一随机事件的可能性的定量描述叫做概率(probability)。例如,在 N 次事件中,如果出现事件 A 的次数为 n ,当 N 足够大时,则 $\frac{n}{N}$ 即为出现事件 A 的概率。

讨论与思考

有些同学常会说:“老师明天八成会提问我对这道题的解法。”我们也常说某件事“十有八九会成功”。雅典奥运会之前,许多人估计射击老将王义夫有 90% 的可能拿到金牌……。其实这里都包含着概率的含义。

请你再举一些事例,说明概率在日常生活中的运用。

投掷硬币的启示

实验探究 探究正反面出现的概率

我们把硬币铸有国徽的一面称为正面,另一面称为反

1月20日
晴
0—5℃
降水概率 10%



图 1-2 某地 1 月的一次天气预报

法国著名数学家、天体力学家拉普拉斯(P. S. M. de Laplace)于1812年出版了一本对统计理论有重大贡献的论著《概率论》，书中意味深长地说：“非常值得注意的是，与游戏中机遇有关的科学知识，将会成为人类知识中一门重要的学科。”

面。用一枚硬币随意投掷，落地时不是正面朝上就是反面朝上。你投掷2次、3次，或者5次，有可能都是正面朝上或都是反面朝上，完全没有规律可言。但是，如果投掷很多次，情况将会怎样呢？

我们来做一个实验。请全班每一位同学各用一枚硬币随意投掷1次和10次，将投掷结果按学号填入下表，并按投掷1次和10次分别进行统计。

学 号	1	2	3	4	5	……	41	42	43	44	45
1次	正面										
	反面										
10次	正面										
	反面										

全班同学投掷总次数 $N =$ _____。

正面朝上的次数 $N_1 =$ _____，概率 $\frac{N_1}{N} =$ _____。

反面朝上的次数 $N_2 =$ _____，概率 $\frac{N_2}{N} =$ _____。

从这次活动中，你能悟出什么规律吗？

统计规律及其特点

分析论证

在投掷硬币的实验中，硬币的每一次投掷，都是一个独立事件，即某一次的投掷结果同其他各次的投掷结果都没有关系。投掷次数较少时，结果是正面朝上还是反面朝上，是非常偶然的。但如果投掷的次数很多，就可以发现，正面朝上和反面朝上的概率都在50%左右。

这就意味着，在大量的偶然事件背后，隐藏着一种规律，这种规律要通过搜集大量资料并加以整理分析后才能显示出来，这种规律叫做统计规律。

统计规律的特点

1. 它是在大量的随机(偶然)事件的集合中起作用的规律，它

揭示的是大量事件在整体上的性质及这些事件间的必然联系。在这里,个别事件的性质及它们之间的偶然联系已退居次要地位。

2. 统计规律只能在有大量事件的情况下才显示出来。它的可靠性跟统计事件的数量有关,事件的数量越多,统计规律就显示得越明显。

3. 实测的概率与用统计理论得出的值总会有一定的偏差,叫做“涨落”,这是统计规律所特有的。一般来说,被统计的事件数量越多,涨落的现象越不显著。

统计规律的普遍性

统计规律不仅普遍存在于自然现象之中,也广泛存在于社会现象之中。例如,国家经常进行人口普查,对普查资料进行统计分析,就可估计出今后每年人口的预期增长率,为计划生育、人口控制、入学和就业安排、经济增长控制等方面提供有价值的依据。又如,为了规划高速公路,就需要对汽车的流量进行统计,为合理选址、确定建造规模和公路等级等方面提供依据。企业要统计消费者的需求,作为设计推广新产品的依据。电视台要统计收视率,以了解所播节目受观众的喜爱程度。医学上的统计分析指出,抽烟和肺癌有关,一天抽 10 支烟的人患肺癌的概率比不抽烟的人高 5 倍左右。据有关报道,日本地震研究人员通过分析历史数据,推测未来东京发生大地震的可能性随着时间的推移在逐渐增加:在未来 10 年内,发生里氏 7 级地震的概率只有 30%;在未来 30 年内这一概率达 70%;在未来 50 年内,上升到 90%……

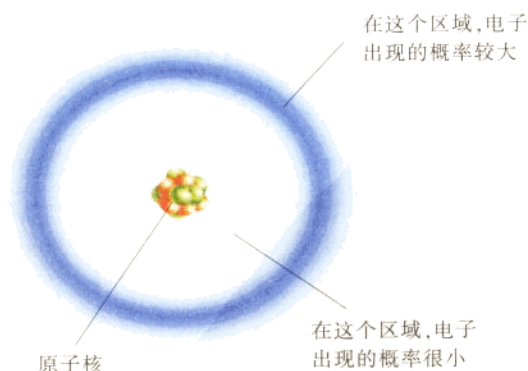


图 1-3 核外电子的概率分布

现代科学研究指出,在原子内,电子与原子核的距离并不是固定不变的,电子可以处在原子核外各个不同的位置上,在与原子核距离不同的地方出现电子的概率不同,传统观点中的“轨道”已被概率分布所取代(图 1-3)。

总之,统计规律跟我们的日常生活、经济建设和科学研究都有着密切的联系。

信息浏览

统计方法步入物理学殿堂

随着物理学的发展,统计思想首先从大量分子组成的热学系统找到了突破口,逐渐渗进了物理学。

1856年,德国物理学家克勒尼希(A. K. Krönig)在一篇论文里说:“按照概率理论的定律……,我们可以用完全的规律替代完全的不规则性。”虽然克勒尼希没有具体用概率理论进行运算,对概率理论在物理学中的重要性还认识不足,但他的话像一道明亮的闪电,照亮了气体分子动理论前进的方向。

1857年,德国物理学家克劳修斯(R. Clausius)发表了分子动理论的奠基性论文,大胆地将概率思

想引入物理学及其计算中。

接着,在 1859 年,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell)成功地找出了分子速率分布的函数,明确地向世人宣告:描述分子运动与牛顿力学的描述宏观客体是不一样的,这里需要新的物理思想和方法。描述大量分子的运动必须应用统计方法。

至此,统计方法终于庄严地步入物理学的殿堂。麦克斯韦传记的作者埃弗里特曾指出,麦克斯韦速率分布函数的导出“标志着物理学新纪元的开始”。

家庭作业与活动

1. 请你在不同季节对当地气象台天气预报中的“明天降水概率”做连续10天或1个月的记录,并对照次日的实际天气情况,填入自己设计的表格中,给气象台对不同季节降水预报的准确度进行评价。
2. 请你和同学们一起调查本校一两个年级(或一两个年龄段)的同学喜爱足球、篮球、排球、

羽毛球、乒乓球等的情况,列表统计结果,并对照学校目前的设施,对学校的体育发展规划提出相应的建议。

3. 走访校医务室,统计全校不同年龄段的同学患近视眼的情况,并对怎样预防近视眼提出合理的保护措施。



图 1-4 场离子显微镜(FIM)拍摄的图像显示了铂针顶端的原子排列顺序(橘黄色),这个图像放大了 200 000 倍

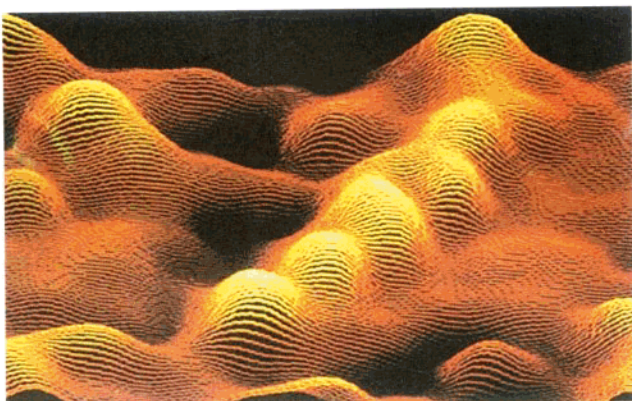


图 1-5 用扫描隧道显微镜(STM)在一个遗传分子上描绘的形状

1.2

走进分子世界

我们知道,通常的物体都是由许多很小的分子组成的。那么,分子有多大呢?教室里的空气分子有多少呢?

分子何其小

实验探究 用油膜法估测分子直径

设计思路

为了研究分子的大小,首先要建立一个简化的分子模型。我们设想组成物质的分子都是球形的,而且同种物质的分子都是一个个大小相同的小球。如果能把某一部分物质的分子一个紧挨一个铺展开来,形成一个“分子地毯”,那么,只要知道这部分物质的体积(V)和铺展开来的面积(S),就可以估算出分子的直径及其大小。即

$$\text{分子直径 } D = \frac{V}{S}$$

构建物质组成模型是一种普遍有效的科学方法。实际分子有着复杂的内部结构。建立分子的球模型,仅是为了便于研究。

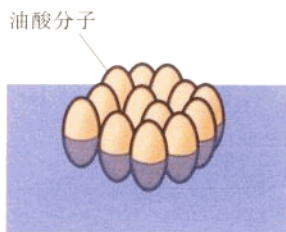


图 1-6 油酸分子形成单分子层的示意图

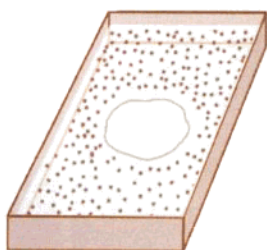


图 1-7 油膜的形状

$$\text{分子体积 } V_1 = \frac{1}{6} \pi D^3 = \frac{1}{6} \pi \left(\frac{V}{S} \right)^3$$

那么,怎样让分子一个紧挨一个地铺展开来呢?

实验计划

为了使分子排列起来,可以利用油酸($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$)分子的酸根 COOH 对水有很强的亲和力这一特点。把一滴用酒精稀释过的油酸滴在水面上,油酸就在水面散开,形成一层薄薄的膜(酒精溶于水,并会很快挥发)。这层薄膜可以看成是单分子层,它的厚度可以认为等于油酸分子的直径(图 1-6)。

实验操作

在一个边长 30—40 cm 的浅盘里倒入约 2 cm 深的水,将痼子粉或石膏粉均匀地撒在水面上。再用注射器或滴管将配制好的油酸酒精溶液滴上一滴,在水面上很快会形成如图 1-7 所示的油酸薄膜。用玻璃板盖在浅盘上,再在玻璃板上覆一张半透明的坐标纸,将油膜形状画在坐标纸上。

在坐标纸上画出油膜的形状后,怎样算出油膜的面积呢?

实验结论

根据所配制的油酸酒精溶液的浓度和事先测好的每滴溶液的体积,再算出坐标纸上油膜的面积,就可以估算出油酸分子的直径。

你的实验结果怎样? 请跟同学们相互交流。

研究表明,一般分子直径的数量级为 10^{-10} m。例如,水分子的直径约为 4×10^{-10} m,氢分子的直径约为 2.3×10^{-10} m。

图 1-8 是用扫描隧道显微镜(STM)观察到的物质表面的原子排列情况。

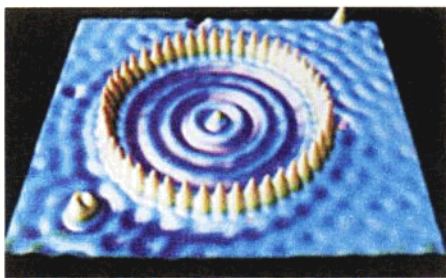


图 1-8 用扫描隧道显微镜观察到的由 48 个铜原子排成的量子围栏

扫描隧道显微镜(STM)是在 1982 年由德国科学家宾尼格(G. Binnig)和瑞士科学家罗雷尔(H. Rohrer)首先研制成功的。为此,他俩与另一位科学家共同获得了 1986 年的诺贝尔物理学奖。

分子何其多

分子很小,通常的一小块物体中都包含着大量的分子。

我们在化学中已学过,1mol 任何物质所包含粒子的数目相等,这个数目叫做阿伏加德罗常数。根据分子的球模型,我们可以算出阿伏加德罗常数的大小,从而可以推算出一定量任何物质中所包含分子的数目。

以水为例,水的摩尔体积是 $V_{\text{mol}} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$, 取水分子的直径为 $D = 4 \times 10^{-10} \text{ m}$, 于是水分子的体积 $V_1 = \frac{1}{6} \pi D^3 = 3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3$ 。假设水分子是一个紧挨一个地排列着的, 因此, 1mol 水所含的水分子数目(即阿伏加德罗常数)就等于

$$N_A = \frac{V_{\text{mol}}}{V_1} = \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}}{3.0 \times 10^{-29} \text{ m}^3} = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

阿伏加德罗常数是一个重要的常数,它仿佛是宏观世界和微观世界之间的一座桥梁。利用阿伏加德罗常数,可以把摩尔质量、摩尔体积等宏观量,跟分子质量、分子大小等微观量联系起来。有了它,我们可以通过对某些宏观量的测量,窥见分子水平的微观世界。

目前,阿伏加德罗常数的公认值是

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

在通常的计算中,可取 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。

对于一个系统的状态,从整体上加以描述的方法叫做宏观描述。这时表征系统状态和属性的物理量叫宏观量。

通过微观粒子运动状态的说明,对系统的状态加以描述的方法叫做微观描述。描述微观粒子运动状态的物理量叫微观量。

讨论与思考

如果已知某种金属的摩尔体积 (V_{mol}) 和阿伏加德罗常数 (N_A),怎样推导出其分子直径的表达式?

案例分析

案例 一间教室长 $a = 8 \text{ m}$, 宽 $b = 7 \text{ m}$, 高 $c = 4 \text{ m}$, 假设教室里的空气处于标准状况。为了估算出教室里空气分子的数目, 有两位同学各自提出了一个方案:

方案 1 取分子直径 $D = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$, 算出分子体积 $V_1 = \frac{1}{6} \pi D^3$, 根据教室内空气的体积 $V = abc$, 算得空气分子数

$$N = \frac{V}{V_1} = \frac{6 abc}{\pi D^3}$$

方案 2 根据化学知识, 1 mol 空气在标准状况下的体积 $V_0 = 22.4 \text{ L} = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。由教室内空气的体积, 可算出教室内空气的摩尔数 $n = \frac{V}{V_0} = \frac{abc}{V_0}$; 再根据阿伏加德罗常数, 算得空气分子数

$$N = n N_A = \frac{abc}{V_0} N_A$$

请对这两种方案做一评价, 并估算出你们教室里空气分子的数目。

分析 方案 1 把教室里的空气分子看成是一个个紧挨在一起的, 没有考虑空气分子之间的空隙, 不符合实际情况。通常情况下气体分子间距的数量级为 10^{-9} m , 因此分子本身体积只是气体所占空间的极小一部分, 常常可以忽略不计。方案 2 的计算方法是正确的。

请根据方案 2 完成计算。

信息浏览

分子概念·实验验证·关于分子的新发现

分子概念是意大利物理学家阿伏加德罗 (A. Avogadro) 于 1811 年首先引入的。阿伏加德罗认为: 一切物质, 无论是单质还是化合物, 都是由分子组成的; 分子则是由原子组成的。单质分子由相同的原子组成, 化合物分子则由不同的原子组成。分子是保持物质化学性质能独立存在的最小颗粒。他还假设, 在同温同压的条件下, 相同体积的任何气体, 都含有相同的分子数。遗憾的是, 阿伏加德罗对

物质结构理论的重大贡献, 却不为当时的科学界所接受, 被整整冷落了 50 年后, 才得到普遍的认同。

1905 年, 爱因斯坦 (A. Einstein) 运用统计规律对布朗运动做出正确解释, 并推导出布朗粒子运动的均方根位移和由此提出的阿伏加德罗常数的表达式。爱因斯坦在他的论文的结尾呼吁: “但愿有一位研究者能够立即成功地解决这里所提出的、对热理论关系重大的这一问题。”

1908 年至 1910 年间, 法国物理学家佩兰

(J. B. Perrin)通过艰苦卓绝的努力,出色地完成了对布朗粒子的测量,得出了三种测定阿伏加德罗常数的方法,证明了理论与实验结果的一致性。佩兰的实验也直接证实了分子的真实存在。从此,分子得到了人们真正的确认。

自那以来,人们对分子的研究一直在进行着,而且随着观测手段的日益进步,新的成果接踵而来,研究领域也不断拓展。

1999年,欧洲的一个科学家小组发现了一种分子,呈环状,并在周围分子环绕形成的空腔内旋转,他们称之为“分子轮”——像轮子一样的分子。这种极微小的分子轮有朝一日或许能成为无需加润滑油的显微马达的一部分。

在国际商用机器公司(IBM)的苏黎世研究实验室里,科学家们注意到,他们的扫描隧道显微镜图像所呈现的分子中,有一个模糊不清,这使他们大为惊异。后来他们才弄明白,这种模糊不清的现象是由这个分子的旋转引起的。原来,这个分子在仅仅 $\frac{1}{4}$ nm 的间距内前后跳动。在一个位置上,这个分子被其他4个分子夹住,动弹不得;而在另一个位置上,它处于这个分子层的一个极微小的空隙中,可以就地旋转。

关于分子,还有不少奥秘,许多国家的科学家仍在继续探索之中。

家庭作业与活动

1. 估算一下,成年人深呼吸一次能吸进多少个空气分子?
2. 一个热水瓶内水的质量约 2.2 kg,其中分子的数目约为多少?
3. 用油膜法做实验时,事先将 1 cm^3 的油酸溶于酒精,制成 200 cm^3 的油酸酒精溶液。已知 1 cm^3 溶液有 50 滴,现取 1 滴油酸酒精溶液滴到水面上,形成一层单分子薄膜,测得油膜

的面积为 0.2 m^2 ,试估算油酸分子的直径大约为多少。

4. 为了测出阿伏加德罗常数,需要知道的物理量是
 - A. 水的密度和水的摩尔质量
 - B. 水的摩尔质量和水分子的体积
 - C. 水分子的体积和水分子的质量
 - D. 水分子的质量和水的摩尔质量