

人教版

本书编写组◎编

实验指导 与实验报告

高中选修

3—3



CES 湖南教育出版社

人教版

本书编写组◎编

实验指导 与实验报告

高中选修

3—3



CIS 湖南教育出版社



目 录

<<<

高中物理选修3-3 (人教版)

实验探究一	用油膜法估测分子的大小	1
实验探究二	用显微镜探究布朗运动	14
实验探究三	探究气体等温变化的规律	24
实验探究四	探究统计规律的实例	39
实验探究五	探究固体导热性能的差异	49
实验探究六	探究液体表面张力和浸润现象	59
参考答案		69

实验探究一

用油膜法估测分子的大小

自主准备

材料阅读

“纳米”是英文 nanometer 的译名，是一个长度度量单位。1 纳米为百万分之一毫米，即 1 毫微米，也就是十亿分之一米，相当于约 45 个原子串起来那么长，纳米结构通常是指尺寸在 100 纳米以下的微小结构，纳米技术其实就是一种用单个原子、分子构造物质的技术。

迄今为止，关于纳米技术分为三种概念。

1. 分子纳米技术

根据这一概念，可以使组合分子的机器实用化，从而可以任意组合所有种类的分子，可以制造出任何种类的分子结构，这种概念的纳米技术还未取得重大进展。

2. 微加工技术

这种概念把纳米技术定位为微加工技术的极限，也就是通过纳米精度的“加工”来人工形成纳米大小的结构的技术，这种纳米的加工技术，也使半导体微型化达到极限，现有技术即使发展下去，从理论上讲终将会达到限度。这是因为，如果把电路的线幅逐渐变小，将使构成电路的绝缘膜变得极薄，这样将破坏绝缘效果。此外，还有发热和晃动等问题，为了解决这些问题，研究人员正在研究新型的纳米技术。

3. 生物纳米技术

这种概念是从生物的角度出发而提出的。本来，生物在细胞和生物膜内就存在纳米级的结构。

通过以上材料：

(1) 你认为纳米技术还在哪些领域内有广泛的应用前景？

(2) 如果你对纳米技术非常感兴趣, 你将怎样为我国的纳米技术的发展作贡献呢?

• 自主准备 • ● ●

知识准备

1. 分子的大小

(1) 一切物体是由_____组成的, 分子的质量和体积都非常小, 分子的直径数量级大约是_____, 分子的质量数量级大约是_____。

(2) 通常采用_____估测分子直径的大小。

2. _____任何物质所含有的分子数都是_____, 数值大小约为_____。

3. 在用油膜法估测分子的直径的时候, 我们通常把分子看作_____, 称作分子的简化模型, 实际上分子有着复杂的内部结构。

方法准备

关于用油膜法测分子的直径的理解。

剖析: 估测分子的大小通常采用油膜法, 取 1 mL 的油酸, 并精确地测出它的体积, 用无水酒精按 1 : 200 的体积比稀释油酸, 使油酸在酒精中充分溶解, 用滴管提取 1 mL 稀释后的油酸, 并测算出滴管中滴出一滴的体积, 在盛水盘中装入约 1 cm 深的蒸馏水, 为了便于观测油膜的面积, 可在水面上轻撒一层痱子粉, 在水盘中央滴一滴油酸酒精溶液, 于是油酸在水面上迅速散开, 到油膜面积不再扩大时, 用一块玻璃盖在盘缘上描出油膜的轮廓图, 把这块玻璃放在方格纸上, 数出油膜面积所占的格数, 然后计算出油膜的面积, 于是, 油膜的厚度 ($D = \frac{V}{S}$) 便可测算出来。

油酸在水面上形成单分子层油膜, 油酸分子的一端对水有很强的亲和力, 被水吸引在水中, 另一端对水没有亲和力, 便冒出水面, 油酸分子都是直立在水中的, 单分子油膜的厚度等于油酸分子的长度, 若把分子当成小球, 油膜的厚度也就等于分子的直径, 其线度的数量级为 10^{-10} m。

合作探究

• 探究指导 • ○○

探究目标：探究油膜法估测分子大小的方法，了解分子直径的数量级大小。

探究器材：边长 300~400 mm 浅盘一只，5 mL 注射器一只（去针头），350 mm×340 mm 的带格子的有机玻璃板一块，网筛一个，痱子粉若干，油性彩笔一支。

猜想与假设：

用乒乓球一个挨一个地排成一米长的线段，大约需要 30 个球，这样我们就可以大致知道乒乓球的直径。我们又知道，物质是由大量的分子排列构成的，我们是不是可以设想把分子当成球形，如果能够让球形分子排列形成单分子膜，我们就可以测量出分子的直径呢？你能够认可这种猜想吗？如果认可，说一说你设想的测量思路。

• 设计并进行探究 • ○○

1. 实验中采用的实验物质是什么? 为什么要采用这种物质?

2. 如何在水面上形成单分子油膜?

3. 如何测量单分子油膜的厚度?

把你设计的实验步骤写在下面。

参考案例:

(1) 用注射器或滴管将事先配制好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒, 记下量筒内增加一定体积时的滴数。

(2) 根据油酸酒精溶液的浓度, 算出一滴溶液中纯油酸的体积 V 。

(3) 用浅盘装入 2 cm 深的水, 然后将痱子粉均匀地撒在水面。

(4) 将一滴油酸酒精溶液滴在水面上, 待油酸薄膜的形状稳定后, 将玻璃板放在浅盘上, 用彩笔将薄膜的形状描画在玻璃板上。

(5) 将画有油膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上, 数出轮廓内的方格数 (不足半个的舍去, 多于半个的算一个), 再根据方格的格数求出油膜的面积 S 。

(6) 用公式 $d = \frac{V}{S}$, 求出薄膜厚度, 即油酸分子的大小。

• 探究结论 •

通过探究估测，把你得到的数据以及对油膜分子直径的计算过程写下，标出分子直径的数量级。

总结反思

1. 用油膜法估测分子直径是建立在一个什么样的理想模型的基础上的？为什么说这样的测量只能是估测而不是准确的分子直径？

2. 类比探究：给你一袋小白菜菜籽，一个 10 mL 量筒，一把塑料尺，如何测出菜籽直径。

3. 与同围同学讨论一下,看能不能得出在整个估测过程中可能出现误差的地方,并与下面的误差分析比较。

- (1) 误把油酸溶液液滴当成纯油酸液滴;
- (2) 方格数不准或面积计算出现差错;
- (3) 油滴体积过大同时水面面积过小,不能形成单分子油膜;
- (4) 痂子粉没有均匀地浮在水面上;
- (5) 计算分子直径时,注意滴加的不是纯油酸,而是酒精油酸溶液,应用一滴溶液的体积乘以溶液的体积百分比浓度。

知识巩固

典例精析

【例 1】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 的溶液有 50 滴,现取 1 滴油酸酒精溶液滴到水面上,随着酒精溶于水,油酸在水面上形成一单分子油膜,已测出这一油膜的面积为 0.2 m^2 ,由此可估算出油酸分子的直径是多少?

【思路解析】油膜法测分子直径应将分子看成小球,且紧密排列,形成的油膜为(油酸)单分子层,即油膜厚为(油酸)分子直径,先推算出油酸体积,再应用 $d = \frac{V}{S}$ 进行计算。

$$1 \text{ cm}^3 \text{ 溶液中油酸体积 } V' = \frac{1}{200} \text{ cm}^3,$$

$$1 \text{ 滴溶液中油酸体积 } V = \frac{1}{50} V' = 1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3 = 1 \times 10^{-10} \text{ m}^3,$$

由于油酸在水面上形成单分子油膜,油膜厚度即为油酸分子的直径,因此油酸分子的直径 $d = \frac{V}{S} = \frac{1 \times 10^{-10}}{0.2} \text{ m} = 5 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

【答案】见解析

【知识点拨】常见错误是将一滴油酸酒精溶液的体积当成油酸体积处理从而使测量结果偏大。

【例2】某种油剂的密度为 $8 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$, 若不慎将 0.8 kg 这种油剂漏到湖水中并形成单分子油膜, 则湖面受污染面积约为 ()

A. 10^{-3} m^2

B. 10^7 cm^2

C. 10 km^2

D. 10^{-10} m^2

【思路解析】油滴的体积 $V = \frac{m}{\rho} = \frac{0.8}{8 \times 10^2} \text{ m}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$,

$$\text{湖面受污染面积 } S = \frac{V}{d} = \frac{1 \times 10^{-3}}{10^{-10}} \text{ m}^2 = 10^7 \text{ m}^2 = 10 \text{ km}^2。$$

【答案】C

【知识点拨】这是一道典型的估算问题, 首先要把在水面上尽可能充分散开的这种油剂形成的油膜视为单分子层油膜, 且把形成单分子油膜的分子视为紧密排列的球形分子。

【例3】已知铜的密度为 $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 相对原子质量为 64, 通过估算可知铜中每个铜原子所占的体积为 ()

A. $1 \times 10^{-28} \text{ m}^3$

B. $1 \times 10^{-29} \text{ m}^3$

C. $1 \times 10^{-26} \text{ m}^3$

D. $8 \times 10^{-24} \text{ m}^3$

【思路解析】铜的摩尔体积 $\bar{V} = \frac{M}{\rho} = \frac{64 \times 10^{-3}}{8.9 \times 10^3} \text{ m}^3$, 每个铜原子所占的体积

$$\bar{V}_1 = \frac{\bar{V}}{N_A} = \frac{64 \times 10^{-3}}{8.9 \times 10^3 \times 6.0 \times 10^{23}} \text{ m}^3 \approx 1 \times 10^{-29} \text{ m}^3, \text{ B 项正确。}$$

【答案】B

【知识点拨】铜的相对原子质量是 64, 意思是 1 mol 的铜质量是 $64 \text{ g} = 64 \times 10^{-3} \text{ kg}$, 一些同学将单位搞错, 导致错误。

【例4】已知水的密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，水的摩尔质量 $M_{\text{mol}} = 1.8 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$ ，求：

(1) 1 cm^3 水中有多少个水分子？

(2) 估算一下水分子的线度是多大。

【思路解析】估算分子数或分子线度，首先要确定摩尔体积，固体、液体的摩尔体积可由物质的摩尔质量和密度求得；再者要确定分子的模型，如球形或立方体形，若知道每个分子的平均体积，则较容易求出分子线度。

水的摩尔体积

$$V_{\text{mol}} = \frac{M_{\text{mol}}}{\rho} = \frac{1.8 \times 10^{-2}}{1.0 \times 10^3} \text{ m}^3/\text{mol} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}。$$

(1) 1 cm^3 水中水分子的数目

$$n = \frac{N_A}{V_{\text{mol}}} = \frac{6.0 \times 10^{23}}{1.8 \times 10^{-5} \times 10^6} \text{ 个/cm}^3 \approx 3.3 \times 10^{22} \text{ 个/cm}^3。$$

(2) 建立水分子的球模型，有

$$\frac{1}{6} \pi d^3 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A}，$$

水分子的直径

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V_{\text{mol}}}{N_A \pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 1.8 \times 10^{-5}}{6.0 \times 10^{23} \times 3.14}} \text{ m} \approx 3.9 \times 10^{-10} \text{ m}，$$

建立水分子的立方体模型，有

$$a^3 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A}，$$

水分子的直径

$$a = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{mol}}}{N_A \pi}} = \sqrt[3]{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{6.0 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 3.1 \times 10^{-10} \text{ m}，$$

由上可见，用不同模型处理水分子，得出的结果稍有不同，但数量级相同。

【答案】(1) $3.3 \times 10^{22} \text{ 个/cm}^3$ (2) $3 \times 10^{-10} \text{ m}$

【知识点拨】这是一道估算题，主要考查估算能力、建立模型的能力及应用数学知识解决物理问题的能力。估算题历来是得分率较低的题型之一。估算不仅仅是一个计算问题，它首先是一个物理问题，对实际问题先进行简化处理（建模），建立估算用的公式，然后才是一个将数学运用到物理中去的问题。

实验练习

1. (多选) 设某固体物质的摩尔质量为 μ , 密度为 ρ , 此种物质样品的质量为 M , 体积为 V , 总分子数为 N , 阿伏加德罗常数为 N_A , 则下列表示一个分子的质量的表达式中正确的是 ()

- A. $\frac{N}{M}$ B. $\frac{\mu}{N_A}$ C. $\frac{M}{N}$ D. $\frac{M}{\rho N}$

2. 已知水银的摩尔质量为 M , 密度为 ρ , 阿伏加德罗常数为 N_A , 则水银分子的直径是 ()

- A. $\left(\frac{6M}{\pi\rho N_A}\right)^{\frac{1}{3}}$ B. $\left(\frac{3M}{4\pi\rho N_A}\right)^{\frac{1}{3}}$ C. $\frac{6M}{\pi\rho N_A}$ D. $\frac{M}{\rho N_A}$

3. 把油滴滴在水面上, 油在水面上尽可能散开, 则油膜厚度数量级为 ()

- A. 10^{-10} m B. 10^{-8} m C. 10^{10} m D. 10^{-7} m

4. 只要知道下列哪一组物理量, 就可以估算出气体中分子间的平均距离 ()

- A. 阿伏加德罗常数、该气体的摩尔质量和质量
B. 阿伏加德罗常数、该气体的摩尔质量和密度
C. 阿伏加德罗常数、该气体的质量和体积
D. 该气体的密度、体积和摩尔质量

5. 已知金刚石的密度为 $3.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 现有一小块金刚石, 其体积是 $5.7 \times 10^{-8} \text{ m}^3$, 则这一小块金刚石含碳原子个数约是 ()

- A. 10^{20} 个 B. 10^{21} 个 C. 10^{22} 个 D. 10^{23} 个

6. 已知汞的摩尔质量为 200.5 g/mol , 密度为 $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 则一个汞原子的体积是多少? 体积为 1 cm^3 的汞中有多少个汞原子?

7. 将 0.001 mol 的香水分散在 $12 \times 7 \times 3.5 \text{ m}^3$ 的教室空间, 那么每立方米空间有多少个香水分子?

8. 在标准状况下, 氢气分子间的距离为多大?

拓展提升

● 拓展启示 ●

1. 已知空气摩尔质量为 $2.9 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$, 阿伏加德罗常数为 $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 成年人做一次深呼吸, 在标准状态下吸入 450 cm^3 的空气, 则做一次深呼吸吸入空气质量为 _____ kg , 吸入的空气分子数大约 _____ 个。(保留两位有效数字)

2. 已知某种油的摩尔质量为 0.1 kg/mol , 密度为 $0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 现取一滴体积为 $0.3 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ 的油滴, 滴于水面上展开成一单分子油膜, 测得油膜的面积为

0.42 m^2 ，试根据上述数据求出阿伏加德罗常数。(保留一位有效数字)

3. 已知水的摩尔质量为 18 g/mol ，密度为 10^3 kg/m^3 ，赤道周长为 $4 \times 10^4 \text{ km}$ ，若水分子并排环绕赤道一周，则大约需用水多少克？

4. 将 1 cm^3 的油酸溶于酒精，制成 500 cm^3 的酒精油酸溶液，已知 1 滴该溶液的体积是 $\frac{1}{40} \text{ cm}^3$ ，现取 1 滴该溶液滴在水面上，随着酒精溶于水，油酸在水面上形成单分子的油膜层，油膜面积为 0.17 m^2 ，由此估算分子直径。

5. 银的密度 $\rho = 10.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 摩尔质量 $M = 107.83 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$, 阿伏加德罗常数 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。假设银导线中银原子的最外层电子全部变成自由电子, 那么直径为 2 mm 的导线中, 每米中含有自由电子的数目的数量级为多少?

6. 已知地球半径 $R = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$, 地球表面的重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$, 大气压 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 空气平均摩尔质量 $M = 2.9 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$, 阿伏加德罗常数 $N_A = 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, 在下列问题的探索中还可查用其他数据。

- (1) 估算地球周围大气层的空气分子数;
- (2) 假如把地球大气全部变为液体而分布在地球表面, 地球的半径将增加多少?

● 创新案例 ●

问题: 在“油膜法估测分子的大小”的实验中, 如何撒粉?

探究过程: 如何撒粉, 这个问题是本实验成功的关键因素。一般都是说取适量的痱子粉均匀地撒到水面上, 或者说用小刀刮粉笔 (主要成分是石膏), 使其灰尘均匀地撒落在盘中水面上。在实验中, 发现用手直接撒, 根本行不通, 刮粉笔灰尖效果也

很差。经过思考，从农民撒农药粉的劳动中受到启发，以前农民撒农药粉也不是直接撒，而是把农药粉装在一个布袋里，然后绑在棒的一端，再用另一根棒拍打装有农药粉的布袋，这样可以做到用药较均匀，药量少而效果好。本实验同样可以这样做：用手帕（或质量较好的一层餐巾纸）包痂子粉，在水面上方轻轻拍打几下即可，解决了水面上的痂子粉要薄而均匀难操作的问题，也减轻了实验里粉尘污染严重的问题，实践表明，这样的效果极佳。

探究结论：

观点一（或方法一）

用手帕（或质量较好的一层餐巾纸）包痂子粉，在水面上方轻轻拍打几下即可。

观点二（或方法二）

用很细的筛子（农村早先用到的筛面粉的筛子）盛上痂子粉，轻轻敲打即可。

对于上述观点，你认为哪种更合适？说一说理由。

实验探究二

用显微镜探究布朗运动

自主准备

• 阅读思考 •

分子的热运动与扩散现象

固体分子热运动的基本形式是绝大多数分子只能在各自的平衡位置附近做无规则的振动, 其原因是固体分子间的作用力很大。在一定温度下, 总有一些固体分子的速率很大, 具有足够的能量脱离平衡位置而转移到别的位置, 甚至进入相邻的物体内部, 产生扩散现象。固体的扩散现象在制造金属零件和半导体材料中起着重要的作用。例如, 利用扩散现象在制造钢制零件的表面用渗碳法提高它的硬度, 用渗铝法提高它的耐热性; 在半导体制造工艺中也常利用扩散法掺入微量的元素, 从而达到控制半导体性质的目的。

研究表明, 大多数物质在熔化、凝固时, 体积只改变10%左右, 分子间平均距离只改变3%左右, 这一事实说明了液体中的分子跟固体中的相似, 同样是密集在一起的, 液体分子间作用力的数量级与固体相同, 液体分子的热运动的情况也跟固体相似, 液体分子的热运动主要是无规则振动, 不过除了振动以外, 还会发生移动, 这就使液体具有流动性, 只有一定的体积而没有一定的形状; 同时液体的扩散速度也大于固体, 这正是两者的显著区别。

鉴于气体分子间的距离比固体、液体要大得多, 气体分子之间的作用十分微弱, 所以气体分子热运动的速率很大, 分子间极为频繁地互相碰撞, 每个分子的运动轨迹都是无规则的杂乱折线。气体的温度越高, 分子运动得就越剧烈, 在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时空气中分子的平均速率约为 400 m/s , 但由于极为频繁的碰撞, 分子速度的大小和方向时刻都在变化, 气体分子沿一定的方向迁移的速率就十分小, 所以气体分子扩散的速度比气体分子运动的速度要小得多, 然而, 气体的扩散现象还是比液体、固体要快得多。

阅读以上材料, 请你思考: