全品
— SINCE 1992 —
教育图书 功能学具 学生之家
基础教育行业专研品牌

30+年专注教育行业

全品学练考

主编 肖德好

导学案

高中物理6

北京专版

选择性必修第三册 RJ

数智教辅

全品AI学伴
7×24小时有问必答
高效预复习，吃透每一课

天津出版传媒集团
天津人民出版社

CONTENTS 目录 导学案

01 第一章　分子动理论
PART ONE

1　分子动理论的基本内容 …… 001

2　实验：用油膜法估测油酸分子的大小 …… 001

3　分子运动速率分布规律 …… 001

4　分子动能和分子势能 …… 001

知识整合与通关（一） …… 123

02 第二章　气体、固体和液体
PART TWO

1　温度和温标 …… 001

2　气体的等温变化 …… 001

第 1 课时　实验：探究气体等温变化的规律 …… 001

第 2 课时　气体的等温变化 …… 001

3　气体的等压变化和等容变化 …… 001

4　固体 …… 001

5　液体 …… 001

知识整合与通关（二） …… 123

03 第三章　热力学定律
PART THREE

1　功、热和内能的改变 …… 001

2　热力学第一定律 …… 001

3　能量守恒定律 …… 001

习题课：热力学定律与气体实验定律的综合应用 …… 001

4　热力学第二定律 …… 001

知识整合与通关（三） …… 123

04 第四章　原子结构和波粒二象性
PART FOUR

1　普朗克黑体辐射理论 …… 001

2　光电效应 …… 001

3　原子的核式结构模型 …… 001

4　氢原子光谱和玻尔的原子模型 …… 001

5　粒子的波动性和量子力学的建立 …… 001

知识整合与通关（四） …… 123

05 第五章　原子核
PART FIVE

1　原子核的组成 …… 001

2　放射性元素的衰变 …… 001

3　核力与结合能 …… 001

4　核裂变与核聚变 …… 001

5　“基本”粒子 …… 001

知识整合与通关（五） …… 123

◆ 参考答案 …… 173

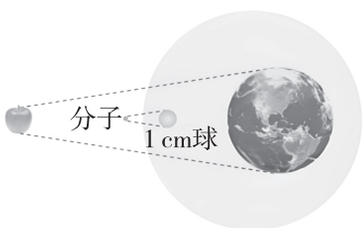
第一章　分子动理论

1　分子动理论的基本内容

学习任务一　物体是由大量分子组成的

[问题导学]

如果我们把地球的大小与一个苹果的大小相比，那就相当于将直径为 1 cm 的球与分子相比. 可见，分子是极其微小的. 我们曾经研究过物体的运动，那么，构成物体的微小分子会怎样运动呢？



[教材链接] 阅读教材完成下列填空.

(1)物体是由大量_____组成的，在研究物体的热运动性质和规律时，不必区分它们在化学变化中所起的不同作用，而把组成物体的微粒统称为_____.

(2)1 mol 的任何物质都含有_____，这个数量用_____表示，即 $N_A=6.02\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$.

[物理观念] (1)若某种物质的摩尔质量为 M，摩尔体积为 V，则一个分子的质量为_____，假设分子紧密排列，一个分子的体积为_____.(已知阿伏加德罗常数为 N_A)

(2)设 V_0 为一个分子的体积，V 为摩尔体积，那么 $V=N_AV_0$，对于任何物质都成立吗？

[辨别明理]

1. 物体是由大量分子组成的，分子是不可再分的最小单元.　(　)

2. 本节所说的“分子”，既包含化学中的分子，也包含原子和离子.　(　)

3. 无论是有机物质，还是无机物质，分子大小数量级都是 10^{-10} m.　(　)

4. 高倍的光学显微镜能够直接看到分子.(　)

例 1 (多选)[2024·北京北师大二附中高二期中] 已知水的摩尔质量为 M，密度为 ρ，阿伏加德罗常数为 N_A；若用 m 表示一个水分子的质量，用 V_0 表示一个水分子的体积，则下列表达式中正确的是　(　)

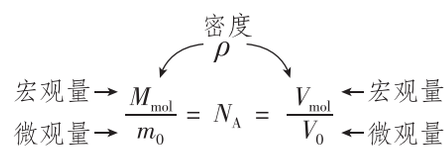
A. $m=\dfrac{M}{N_A}$　　B. $m=\dfrac{N_A}{M}$

C. $V_0=\dfrac{\rho N_A}{M}$　　D. $V_0=\dfrac{M}{\rho N_A}$

[要点总结]

1. 阿伏加德罗常数 N_A(桥梁和纽带作用)

阿伏加德罗常数是宏观世界和微观世界之间的一座桥梁. 如下图.



其中密度 $\rho=\dfrac{m}{V}=\dfrac{M_{\text{mol}}}{V_{\text{mol}}}$，但要切记 $\rho=\dfrac{m_0}{V_0}$ 是没有物理意义的，$N_A=\dfrac{V_{\text{mol}}}{V_0}$ 只适用于固体和液体.

2. 微观量与宏观量的关系

(1)分子质量：$m_0=\dfrac{M_{\text{mol}}}{N_A}=\dfrac{\rho V_{\text{mol}}}{N_A}$.

(2)分子体积：$V_0=\dfrac{V_{\text{mol}}}{N_A}=\dfrac{M_{\text{mol}}}{\rho N_A}$(适用于固体和液体).

(对于气体，V_0 表示每个气体分子所占空间的体积)

(3)物质所含的分子数：$N=nN_A=\dfrac{m}{M_{\text{mol}}}N_A=\dfrac{V}{V_{\text{mol}}}N_A$.

学习任务二　分子热运动

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

(1)扩散现象：不同种物质能够彼此_____的现象叫作扩散. 扩散现象是由物质分子的_____产生的.

(2)布朗运动：悬浮在液体或气体中的_____不停地做_____运动，称为布朗运动，如悬浮在水中的小炭粒、花粉微粒的运动.

(3)热运动

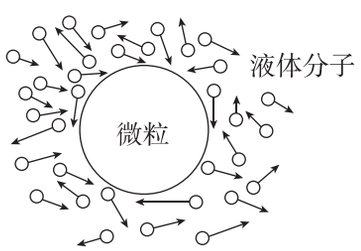
①定义：_____永不停息的无规则运动叫作热运动.

②影响因素：_____是分子热运动剧烈程度的标志.

[科学探究] (1)如图所示，在两个相同的玻璃杯中分别装入质量相等的冷水和热水，然后在两杯水中同时滴入一滴墨水，一段时间后观察到两个杯子中的墨水呈如图所示的扩散现象. 该实验表明扩散现象的快慢与_____有关，_____，扩散越快.



(2)如图所示为悬浮在液体中的固体微粒在液体分子撞击作用下的模型图.



在某一瞬间，微粒在某个方向上受到的撞击作用较强；在下一瞬间，受到另一方向上的撞击作用较强，这样就引起了微粒_____运动. 悬浮在液体中的微粒越小，则在某一瞬间跟它相撞的液体分子数越_____，撞击作用的不平衡性就表现得越_____，并且微粒越_____，则它的质量越小，其运动状态就越_____被改变，因而，布朗运动越_____.

【辨别明理】

1. 阳光从狭缝中射入较暗的室内，透过阳光看到飞舞的尘埃，这些尘埃颗粒的运动就是布朗运动. (　)

2. 向一锅水中撒一点胡椒粉，加热时发现水中的胡椒粉在翻滚，这说明温度越高，布朗运动越剧烈. (　)

3. 布朗运动就是液体分子的无规则运动. (　)

4. 布朗运动证明，组成固体小颗粒的分子在做无规则运动. (　)

5. 在显微镜下可以观察到煤油中小粒灰尘的布朗运动，这说明煤油分子在做无规则运动. (　)

例 2 (多选)关于扩散现象，下列说法正确的是 (　)

A. 扩散现象是指相互接触的物体彼此进入对方的现象

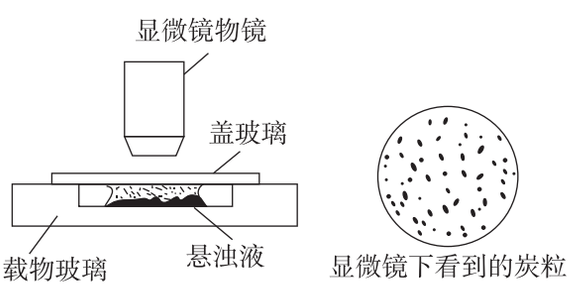
B. 扩散现象只能在液体中进行

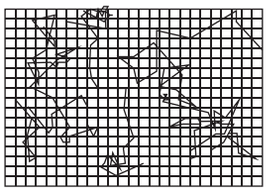
C. 扩散现象说明分子在做永不停息的无规则运动且分子之间是有空隙的

D. 扩散的快慢与温度无关

[反思感悟]

例 3 [2025·北京十三中高二期中] 如图是观察布朗运动的实验装置的示意图. 用高倍显微镜观察悬浮在液体中的小炭粒的运动情况. 选三个小炭粒，每隔 30 s 记录一次它们的位置，然后用线段把这些位置按时间顺序连接起来得到它们的位置连线图. 下列说法正确的是 (　)





显微镜下看到的三颗小炭粒运动位置的连线

A. 该实验用显微镜观察到的是液体分子的无规则运动

B. 该实验用显微镜观察到的是小炭粒分子的无规则运动

C. 这样得到的位置连线图就是该小炭粒实际的运动轨迹

D. 小炭粒越小，液体的温度越高，观察到的布朗运动就越明显

[反思感悟]

例 4 [2024·北京海淀区高二期末] 关于分子热运动和布朗运动，下列说法正确的是 （ ）

A. 布朗运动是指在显微镜中看到的液体分子的无规则运动

B. 布朗运动反映了悬浮在水中的花粉分子的无规则运动

C. 温度相同时，悬浮在水中的微粒越小，其布朗运动越明显

D. 当物体温度达到 0 ℃时，物体分子会停止热运动

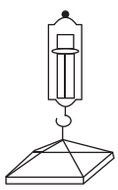
【要点总结】

布朗运动、扩散现象和分子热运动的异同

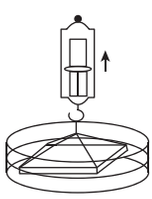
		布朗运动	扩散现象	分子热运动
不同点	对象	固体微小颗粒	分子	分子
	产生条件	固体微粒悬浮在液体或气体中	两种不同物质相互接触	不需要条件，一切物质的分子都在永不停息地做无规则运动
	影响因素	温度的高低和微粒的大小	温度的高低、物态形式、物质的浓度差	温度的高低
	现象本质	是液体或气体分子无规则运动的间接反映	是分子的运动	是分子的运动
	观察方式	光学显微镜	有的裸眼可见	电子显微镜或扫描隧道显微镜
相同点		①无规则；②永不停息；③温度越高则越剧烈		

学习任务三　分子间的作用力

[科学探究] 把一块洗干净的玻璃板吊在弹簧测力计的下端(图甲)，手持弹簧测力计上端，让玻璃板恰好与水槽内水面接触(图乙)，并慢慢向上提起弹簧测力计. 向上提起时弹簧测力计的示数变大，这主要是因为分子间存在_____.



甲



乙

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

1. 分子间有空隙

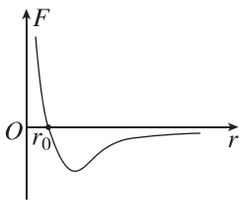
(1)气体很容易被压缩，说明_____分子之间存在着很大的空隙.

(2)水和酒精混合后的总体积变小了，这表明_____分子之间存在着空隙.

(3)压在一起的金块和铅块，各自的分子能扩散到对方的内部，这表明_____分子之间也存在着空隙.

2. 分子间的作用力

(1)分子间的作用力 F 跟分子间距离 r 的关系如图所示.



①当 $r<r_0$ 时,分子间的作用力 F 表现为_____力.

②当 $r=r_0$ 时,分子间的作用力 F 为_____,这个位置称为_____位置.

③当 $r>r_0$ 时,分子间的作用力 F 表现为_____力.

(2)产生原因:由原子内部_____的相互作用引起的.

【辨别明理】

1. 当两个物体紧靠在一起时,并没有粘在一起是因为此时两个物体间的分子间作用力表现为斥力.( )

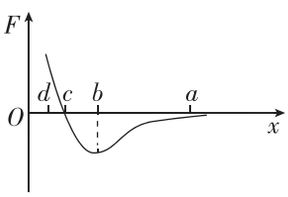
2. 水的体积很难被压缩,这是分子间存在斥力的宏观表现. ( )

3. 气体总是很容易充满容器,这是分子间存在斥力的宏观表现. ( )

4. 两个相同的半球壳吻合接触,中间抽成真空(马德堡半球),用力很难拉开,这是分子间存在引力的宏观表现. ( )

5. 用力拉铁棒的两端,铁棒没有断,这是分子间存在引力的宏观表现. ( )

例 5 (多选)[2026·北京八中高二月考] 如图所示,甲分子固定在坐标原点 O,乙分子位于 x 轴上,甲分子对乙分子的作用力与两分子间距离的关系如图中曲线所示,$F>0$ 为斥力,$F<0$ 为引力,a、b、c、d 为 x 轴上四个特定的位置.现把乙分子从 a 处由静止释放,则 ( )



A. 乙分子从 a 到 b 做加速运动,由 b 到 c 做减速运动

B. 乙分子由 a 到 c 做加速运动,到达 c 时速度最大

C. 乙分子由 a 到 b 的过程中,两分子间的作用力一直做正功

D. 乙分子由 b 到 d 的过程中,两分子间的作用力先做正功后做负功

[反思感悟]

学习任务四 分子动理论

[教材链接] 阅读教材,完成下列填空.

分子动理论的基本内容:(1) 物体是由_____组成的;(2)分子在做_____的无规则运动;(3)分子之间存在着_____.

例 6 (多选)分子动理论较好地解释了物质的宏观热学性质,据此可判断下列说法中正确的是 ( )

A. 显微镜下观察到墨水中的小炭粒在不停地做无规则运动,这间接地反映了液体分子运动的无规则性

B. 分子间的作用力随分子间距离的增大,一定先减小后增大

C. 分子间引力随着分子间距离的增大,可能先减小后增大

D. 在真空、高温条件下,可以利用分子扩散向半导体材料中掺入其他元素

随堂巩固

1. (阿伏加德罗常数)某气体的摩尔质量是 M,标准状态下的摩尔体积为 V,阿伏加德罗常数为 N_A,下列叙述中正确的是 ( )

A. 该气体在标准状态下的密度为 $\dfrac{MN_A}{V}$

B. 该气体每个分子的质量为 $\dfrac{M}{N_A}$

C. 每个气体分子在标准状态下的体积为 $\dfrac{V}{N_A}$

D. 该气体单位体积内的分子数为 $\dfrac{V}{N_A}$

2.（分子热运动）（多选）下列现象中属于扩散现象的是（　）

A. 樟脑球放在箱子里，过几天箱子里充满了樟脑的气味

B. 一杯水中放入一勺白糖，过一会儿水变甜了

C. 洒水车将水喷洒在路面上

D. 铁件放在土表面，时间长了，接触部位铁件会有锈

3.（分子热运动）关于布朗运动及其原因，以下说法不正确的是（　）

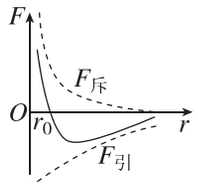
A. 布朗运动是悬浮在液体中的固体微粒的无规则运动，间接证实了液体分子的无规则运动

B. 布朗运动是液体分子的运动，它说明分子在做永不停息的无规则运动

C. 布朗运动是由液体分子对悬浮颗粒碰撞作用不平衡引起的

D. 液体的温度越高，布朗运动越剧烈

4.（分子间的作用力）两个临近的分子之间同时存在着引力和斥力，引力和斥力的大小随分子间距离变化的关系如图中虚线所示，分子间作用力的合力与分子间距离的关系如图中实线所示. 下列说法正确的是（　）



A. 当分子间距离增大时，分子间的引力和斥力均减小

B. 当分子间距离增大时，分子间的引力和斥力均增大

C. 当 $r=r_0$ 时分子间引力和斥力均为零

D. 当 $r<r_0$ 时分子间只有引力，当 $r>r_0$ 时分子间只有斥力

5.（分子动理论）（多选）下列说法正确的是（　）

A. 分子在做永不停息的无规则运动

B. 分子动理论是在一定实验基础上提出的

C. 已知某种气体的密度为 ρ，摩尔质量为 M，阿伏加德罗常数为 N_A，则单位体积的分子数为 $\frac{\rho N_A}{M}$

D. 水结为冰时，部分水分子已经停止了热运动

2　实验：用油膜法估测油酸分子的大小

一、实验思路

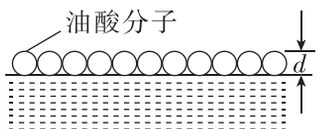
【实验目的】

1. 估测油酸分子的大小.

2. 学会间接测量油酸分子大小的思想和方法：通过测量宏观量来测量微观量的方法.

【实验原理】

1. 理想化：认为在水面上形成的油酸薄膜是由_____油酸分子组成的，如图所示.



2. 模型化：把油酸分子简化为_____.

3. 估算：为了使油酸充分展开，获得一块单分子油膜，我们需要将油酸在酒精中稀释后再滴入水中. 这样的油酸酒精溶液滴在水面上，溶液中的酒精将溶于水并很快挥发，从而获得纯油酸形成的油膜. 这里可以粗略地认为，油膜的厚度 d 等于 1 滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V 与它在水面上摊开的面积 S 之比，即 $d=$_____.

二、物理量的测量

【实验器材】

油酸、酒精、注射器或滴管、_____、浅盘、_____、坐标纸、记号笔、爽身粉.

【实验步骤】

1. 取1 mL的油酸溶于酒精中，制成500 mL的油酸酒精溶液.

2. 用注射器向量筒中滴入1 mL配制好的油酸酒精溶液(浓度已知)，记下滴入的滴数n，算出一滴油酸酒精溶液的体积$V_0=\frac{1}{n}$ mL.

3. 在浅盘中倒入约2 cm深的水，将爽身粉均匀撒在水面上.

4. 将一滴油酸酒精溶液滴在浅盘的水面上.

5. 待油膜形状稳定后，将带有坐标方格的玻璃板放在浅盘上，在玻璃板上描下薄膜的形状.

6. 根据画有油膜轮廓的玻璃板上的坐标方格，计算轮廓范围内的正方形的个数，不足半个的舍去，多于半个的算一个. 然后，用正方形的个数乘单个正方形的面积就得到油膜的面积S.

7. 根据已配制好的油酸酒精溶液的浓度，算出一滴溶液中纯油酸的体积V.

三、数据分析

【数据处理】

根据上面记录的数据，利用$d=\frac{V}{S}$计算油酸分子的直径.

实验次数	1 mL油酸酒精溶液的滴数	轮廓内的正方形个数	轮廓面积S	一滴溶液中纯油酸的体积V	分子的直径(m)	分子直径的平均值(m)
1						
2						
…						

例1 [2026·北京人大附中高二月考] 在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，某同学准备了体积分数为η(油酸溶质的体积和溶液体积的比)的油酸酒精溶液. 用滴管吸取，并一滴一滴地滴入量筒，记下体积为V的油酸酒精溶液的滴数为N. 之后的操作步骤如下：

A. 待油酸薄膜形状稳定后，将带有方格的玻璃板放在浅盘上，用笔将油酸薄膜的形状画在玻璃板上；

B. 将爽身粉均匀地撒在浅盘中的水面上，用滴管吸取油酸酒精溶液，从低处向水面滴出一滴；

C. 根据方格数目，计算油膜的面积S.

(1)以上操作步骤正确的顺序是_____(填序号)，油酸分子直径的表达式为$d=$_____(用题目中给出的字母表示).

(2)实验中发现计算得到的油酸分子直径偏小，其可能的原因有_____(填选项前的字母).

A. 水面上爽身粉撒的过多，油酸膜没有充分展开

B. 油酸酒精溶液长时间放置，产生了明显的酒精挥发

C. 计算轮廓范围内的面积时，舍去了所有不足一格的方格

D. 将油酸酒精溶液滴入量筒时，一些溶液液滴附着在量筒壁上

(3)如果液态油酸的密度为ρ，摩尔质量为M，则可计算阿伏加德罗常数的值为$N_A=$_____(近似认为油酸分子是边长为d的立方体，结果可以包含字母d).

例2 [2025·北京一零一中学高二期中] (1)在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，下列说法或操作正确的是_____(填选项前的字母).

A. 将油膜看作单分子层薄膜，并不考虑油酸分子间的间隙

B. 将油酸分子看成球形

C. 在量筒中只滴入一滴油酸酒精溶液，测出它的体积

D. 若撒入水中的爽身粉太多，会使油酸未完全散开，从而使测出的分子直径偏小

(2)若油酸酒精溶液体积浓度为0.10%，通过计算得到一滴溶液的体积为8.0×10^{-3} mL，其形成的油膜面积为40 cm^2，则估测出油酸分子的直径

为_____m.(计算结果保留两位有效数字)

(3)该同学做完实验后,发现自己所测的分子直径 d 明显偏大,出现这种情况的原因可能是_____(填选项前的字母).

A. 滴入的油酸酒精溶液体积作为油酸体积进行计算

B. 油酸酒精溶液长时间放置,酒精挥发使溶液的浓度发生了变化

C. 水面上爽身粉撒得太多,油膜没有充分展开

D. 计算油膜面积时,将不完整的方格作为完整方格处理

【误差分析】

1. 油酸酒精溶液的实际浓度与理论值之间存在差异.

2. 形成单分子油膜:只有形成单分子油膜,才能保证分子的直径计算式 $d=\frac{V}{S}$ 成立.要求使用的油酸酒精溶液的浓度、爽身粉的用量适宜.

3. 一滴油酸的体积 V:用累积法测出一滴油酸的体积.先测出 1 mL 油酸酒精溶液的滴数,从而计算出一滴油酸酒精溶液的体积,再由油酸酒精溶液的浓度算出一滴纯油酸的体积.

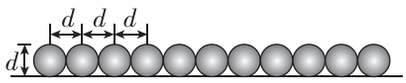
4. 油膜的面积 S:根据画有油膜轮廓的玻璃板上的坐标方格计算出形状不规则的油膜的面积.数出轮廓内的方格数,方格边长的单位越小,用这种方法求出的面积越精确.

素养提升

分子的两种模型

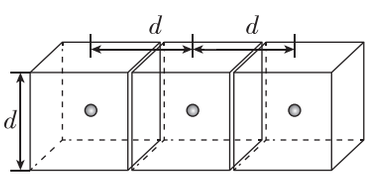
1. 球体模型

对于固体和液体分子,可把分子看作一个个挨着排列在一起的小球,如图所示,分子间的空隙忽略不计.由一个分子的体积 $V_0=\frac{V}{N_A}$ 及 $V_0=\frac{1}{6}\pi d^3$ 可得 $d=\sqrt[3]{\frac{6V}{\pi N_A}}$.($V$ 为摩尔体积)



2. 立方体模型

对于气体,由于分子间距离较大,可以把气体分成一个个小立方体,如图所示,把气体分子看成质点,位于小立方体的中心,每个小立方体的体积 V_0 为每个分子平均占有的空间体积,小立方体的边长 d 相当于分子间的平均距离,由 $V_0=\frac{V}{N_A}$ 及 $V_0=d^3$ 可得 $d=\sqrt[3]{\frac{V}{N_A}}$.($V$ 为摩尔体积)



示例 1 铂是贵金属之一,较软,有良好的延展性、导热性和导电性.已知铂的摩尔质量为 $0.195\ \text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$,密度为 $21.4\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$,阿伏加德罗常数为 $6\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$,把铂原子看成球体,球体的体积公式为 $V=\frac{4}{3}\pi r^3$,其中 r 为球的半径,则铂原子的直径是 (　　)

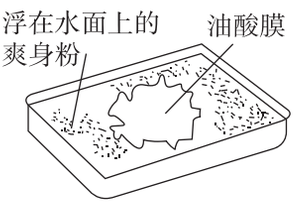
A. 3×10^{-10} m　　B. 4×10^{-10} m

C. 5×10^{-11} m　　D. 3×10^{-11} m

示例 2 气体分子间的空隙很大,可将单个气体分子平均占有的空间看作以下模型:将气体所占的整个空间分成若干个小立方体,气体分子位于每个小立方体的中心,小立方体的边长为相邻气体分子间的平均距离.请按这种模型,估算气体在标准状态下分子间的平均距离(已知标准状态下气体的摩尔体积为 22.4 L/mol,阿伏加德罗常数为 $6.02\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$).

随堂巩固

1. （实验原理和注意事项）（多选）如图所示，在“用油膜法估测分子的大小”实验中，下列说法正确的是（　　）



A. 实验中把适量爽身粉均匀洒在水面上即可，不能太多

B. 酒精溶液的作用是使油酸和爽身粉之间形成清晰的边界轮廓

C. 实验中的理想化假设是油膜为单层分子且分子是一个挨一个排列的

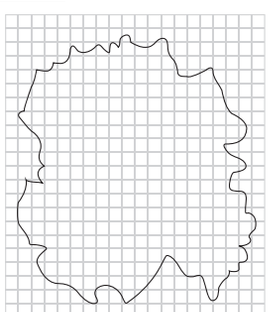
D. 实验中油酸分子的直径等于纯油酸的体积除以相应油酸膜的面积

2. （实验原理）［2024·北京北师大二附中高二期中］在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，我们通过宏观量的测量间接计算微观量.

(1)本实验利用了油酸分子易在水面上形成_____（选填“单层”或“多层”）分子油膜的特性.若将含有纯油酸体积为 V 的一滴油酸酒精溶液滴到水面上，形成面积为 S 的油酸薄膜，则由此可估测油酸分子的直径为 $d=$_____（用题目中给出的字母表示）.

(2)在做本实验时，油酸酒精溶液的浓度为每 1000 mL 溶液中有纯油酸 1 mL，用注射器测得 1 mL 上述溶液为 100 滴.取一滴此油酸酒精溶液滴到水面上，形成面积约为 100 cm^2 的油酸薄膜，由以上数据，可估算出油酸分子的直径约为_____m（计算结果保留一位有效数字）.

(3)某同学实验中获得如图所示的油膜轮廓.在计算油膜面积时，他把凡是半格左右的油膜都算成了一格，这一操作会导致实验测得的油酸分子直径_____（选填“偏大”或“偏小”）.



3. （数据处理和误差分析）［2026·北京大兴一中高二月考］(1)在做“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中，实验简要步骤如下：

A. 用公式 $d=\dfrac{V}{S}$，求出油酸薄膜厚度，即油酸分子的大小；

B. 用浅盘装入约 2 cm 深的水，然后将爽身粉均匀地撒在水面上；

C. 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；

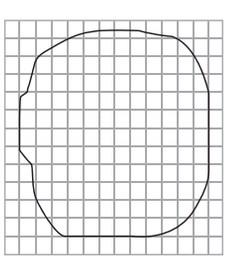
D. 用注射器或滴管将事先配制好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒，记下量筒内增加一定体积时的滴数；

E. 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；

F. 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），再根据方格的边长求出油膜的面积 S.

上述实验步骤的合理顺序是_____.

(2)以上实验所用的油酸酒精溶液的浓度为每 1000 mL 溶液中有纯油酸 0.6 mL，用注射器测得 1 mL 上述溶液有 80 滴，把 1 滴该溶液滴入盛水的浅盘内，让油膜在水面上尽可能散开，得到油酸薄膜的轮廓如图所示，图中正方形格的边长为 1 cm，则可求得：



①油酸薄膜的面积是_____cm^2；

②一滴溶液中纯油酸的体积是_____mL；

③油酸分子的直径是_____m.（③的结果保留一位有效数字）

(3)下列操作导致实验测得的油酸分子直径偏小的是_____（填选项前字母）.

A. 配制好的油酸酒精溶液放置太久

B. 在计算油膜面积时，把凡是不足一格的格数都舍去

C. 在计算注射器滴出的一滴油酸酒精溶液体积时，少数了一滴

D. 油酸薄膜未充分散开

3　分子运动速率分布规律

学习任务一　气体分子运动的特点

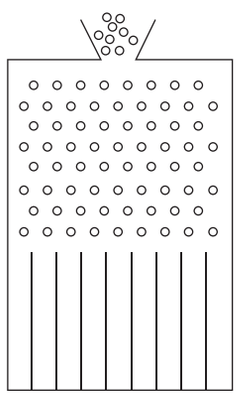
[问题导学]

伽尔顿板：一块竖直木板的上部规则地钉上铁钉，下部用竖直隔板隔成等宽的狭槽，从顶部中央的漏斗形入口处可以投入小球，板前覆盖玻璃使小球不致落到槽外.

1. 将一个小球从入口处投入，在下落过程中将与铁钉发生多次碰撞，最后会落入哪个槽中？

2. 将许多小球从入口处投入，结果会怎样？

由此你能得到什么启发？



[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

(1)随机性与统计规律

①必然事件：在一定条件下_____出现的事件.

②不可能事件：在一定条件下_____出现的事件.

③随机事件：在一定条件下_____出现，也_____不出现的事件.

④统计规律：大量_____的整体表现出的规律.

(2)气体分子运动的特点

①气体分子间距离_____，可以把气体分子视为_____，分子间的作用力_____，通常认为，气体分子除了相互碰撞或者跟器壁碰撞外，不受力而做匀速直线运动，气体充满它能达到的整个空间.

②分子间的碰撞_____.频繁地碰撞使每个分子速度的大小和方向频繁地改变，造成气体分子做杂乱无章的热运动.

③大量分子的热运动在宏观上表现出一定的统计规律，在某一时刻，向着任何一个方向运动的分子都有，而且向_____运动的气体分子数目几乎_____.

【辨别明理】

1. 对于随机事件，个别事件的出现具有偶然性，但大量事件出现的机率遵从一定的规律.　(　)

2. 某种气体的分子可能会出现某一时刻所有分子都朝同一方向运动的情况.　(　)

3. 气体分子的运动速率可由牛顿运动定律求得.　(　)

例 1（多选）下列关于气体分子运动的说法正确的是　(　)

A. 分子除相互碰撞或跟容器壁碰撞外，可在空间自由移动

B. 分子的频繁碰撞致使它做杂乱无章的热运动

C. 分子沿各个方向运动的机会相等

D. 某时刻某一气体分子向左运动，则下一时刻它一定向右运动

[反思感悟]

【要点总结】

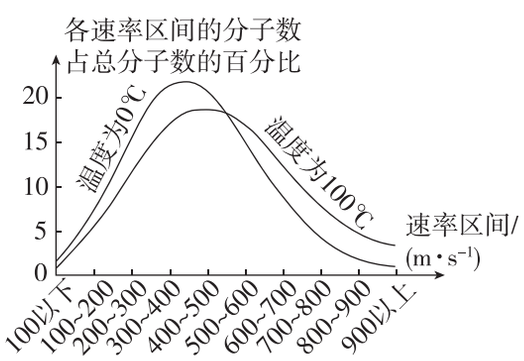
气体的热现象的研究对象是大量的、具有统计学意义的气体分子，而不是个别的气体分子.

学习任务二　分子运动速率分布图像

[物理观念] 尽管气体分子做无规则运动，速率有大有小，但大量分子的速率却是按一定的规律分布. 下表是氧气分子在 0 ℃和 100 ℃两种不同情况下的速率分布情况.

速率区间/($m \cdot s^{-1}$)	各速率区间的分子数占总分子数的百分比(%)	
	0 ℃	100 ℃
100 以下	1.4	0.7
100～200	8.1	5.4
200～300	17.0	11.9
300～400	21.4	17.4
400～500	20.4	18.6
500～600	15.1	16.7
600～700	9.2	12.9
700～800	4.5	7.9
800～900	2.0	4.6
900 以上	0.9	3.9
百分比总和	100	100

若以横坐标表示分子速率区间，纵坐标表示各速率区间的分子数占总分子数的百分比，作出分子运动速率分布图像如图所示.



该图像有以下几个特点：

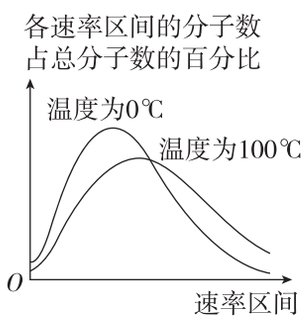
(1)0 ℃和 100 ℃氧气分子的速率都呈“中间多、两头少”的分布.

(2)0 ℃时，速率在 300～400 m/s 的分子最多；100 ℃时，速率在 400～500 m/s 的分子最多.

(3)100 ℃的氧气，速率大的分子比例较多，其分子的平均速率比 0 ℃的大.

(4)纵坐标表示各速率区间的分子数占总分子数的百分比总和为 100%.

例 2 (多选)根据分子动理论，气体分子运动的剧烈程度与温度有关，氧气分子在 0 ℃和100 ℃温度下分子运动速率分布图像如图，下列说法正确的是 (　　)



A. 不论温度有多高，速率很大和很小的分子总是多数分子

B. 温度升高时，速率大的分子数增多

C. 温度升高时，每一个分子的速率都会增大

D. 温度变化时，“中间多、两头少”的分子分布规律不会发生改变

[反思感悟]

【要点总结】

1. 气体分子速率分布规律是大量气体分子遵从的统计规律，单个分子的运动具有不确定性.

2. 气体分子速率分布规律

(1)在一定温度下，所有气体分子的速率都呈“中间多、两头少”的分布.

(2)温度越高，速率大的分子所占比例越大.

(3)温度升高，气体分子的平均速率变大，但具体到某一个气体分子，速率可能变大、可能变小也可能不变，无法确定.

学习任务三　气体压强的微观解释

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

(1)气体压强的产生原因：气体对容器的压强源于气体分子的热运动，是大量气体分子不断撞击器壁的结果.

(2)决定气体压强大小的因素

①从微观角度来看，气体压强的大小跟_____和_____有关.

②从宏观角度来看，气体压强的大小跟_____和_____有关. 体积不变，温度越_____，气体的压强越大；温度不变，体积越_____，气体的压强越大.

例 3 [2023·北京卷] 夜间由于气温降低，汽车轮胎内的气体压强变低. 与白天相比，夜间轮胎内的气体 (　　)

A. 分子的平均动能更小

B. 单位体积内分子的个数更少

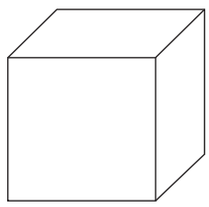
C. 所有分子的运动速率都更小

D. 分子对轮胎内壁单位面积的平均作用力更大

[反思感悟]

例 4 [2024·北京通州区高二期末] 关于气体压强，可以从宏观与微观两个不同角度进行研究，找出其内在联系，从而更加深刻地理解其物理本质.

如图所示，正方体密闭容器中有大量的气体分子，每个气体分子质量为 m，单位体积内气体分子数量 n 为恒量. 为简化问题，我们假定：气体分子大小可以忽略，其速率均为 v，且与器壁各面碰撞的机会均等；与器壁碰撞前、后瞬间，粒子速度方向都与器壁垂直，且速率不变. 利用所学力学知识，推导容器内气体压强 p 与 m、n 和 v 的关系.(注意：解题过程中需要用到、但题目中没有给出的物理量，要在解题时作出必要的说明)



【要点总结】

1. 温度一定时，气体分子的数密度(即单位体积内气体分子的数目)越大，在单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数就越多，气体的压强就越大.

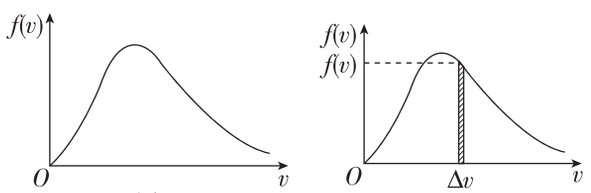
2. 体积一定时，气体的温度越高，气体分子与器壁碰撞(可视为弹性碰撞)时给器壁的冲量就越大；从另一方面讲，分子的平均速率越大，在单位时间内单位面积器壁受气体分子撞击的次数就越多，作用力就越大，气体的压强就越大.

3. 大气压是由重力产生的，大气压随高度增大而减小；气体的压强是由大量分子无规则热运动向各个方向撞击而产生的，气体的压强不随高度变化而变化.

素养提升

麦克斯韦速率分布律

麦克斯韦在1859年用概率论证明了在平衡态下，理想气体分子的速度分布是有规律的，这个规律称为麦克斯韦速率分布律，并给出了它的分布函数表达式.若以横坐标 v 表示分子速率，纵坐标表示速率 v 附近单位速率区间内的分子数占总分子数的百分比，函数表达式为 $f(v)=\frac{\Delta N}{N\Delta v}$，其中 N 为总分子数，ΔN 为各速率区间的分子数，图像如图甲所示.如图乙所示，通过微元法解释图像与横轴所围的面积的物理意义，$\Delta S=f(v)\Delta v=\frac{\Delta N}{N}$，所以，得出整个图像与横轴所围的面积的数值为1.



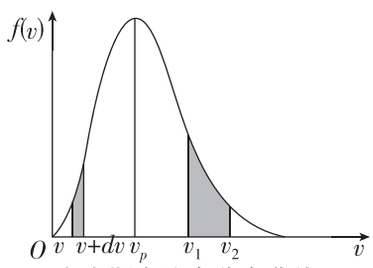
示例 （多选）速率分布曲线表明速率很小和很大的分子数占总分子数的百分率都较小，而具有中等速率的分子数占总分子数的百分率较高，当 $v=v_p$ 时，$f(v)$ 取极大值，v_p 称为最概然速率，也称最可几速率，其物理意义是，如果把整个速率范围分成许多相等的小区间，则分布在 v_p 所在小区间的分子数占总分子数的百分比最大.下列说法正确的是 （ ）

A. 如图所示因这些是概率分布，所以麦克斯韦速率分布曲线与 v 轴围成的面积为1

B. 在有限速率区间 $v_1\sim v_2$ 内曲线下的阴影面积的物理意义是，速率分布在 $v_1\sim v_2$ 的分子数占总分子数的百分比，或一个分子的速率在 $v_1\sim v_2$ 内的概率

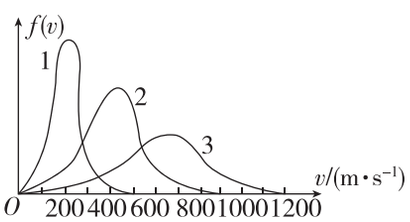
C. 任何温度下气体分子速率分布图像都一样

D. 曲线反映某温度时氧气分子速率呈“中间多，两头少”的分布



麦克斯韦速率分布曲线

变式 （多选）一定质量的某气体在不同的温度下分子速率的麦克斯韦分布图如图所示，图中横轴表示分子运动的速率 v，纵轴表示该速率下的分子数 Δn 与总分子数 n 的比值，记为 $f(v)$，其中 $f(v)$ 取最大值时的速率称为最概然速率，下列说法正确的是 （ ）



A. 3条图线与横轴围成的面积相同

B. 3条图线温度不同，且 $T_1>T_2>T_3$

C. 图线3对应的分子平均速率最大

D. 最概然速率是气体中任何分子最有可能具有的速率

随堂巩固

1. （气体分子运动的特点）（多选）关于气体分子运动的特点，下列说法中正确的是 （ ）

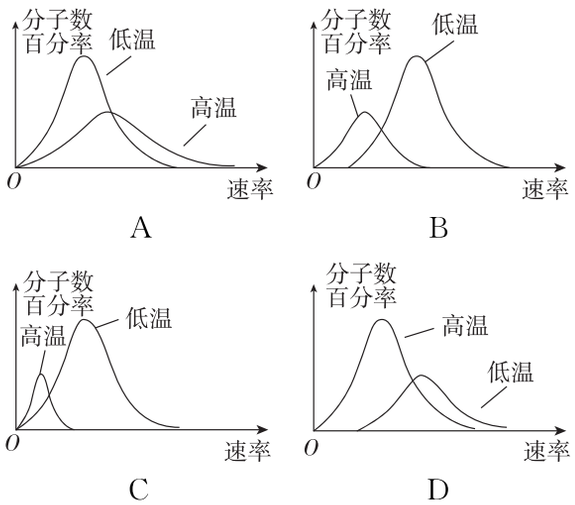
A. 由于气体分子间的距离较大，所以气体很容易被压缩

B. 气体之所以能充满整个空间，是因为气体分子间的作用力十分微弱，气体分子除了相互碰撞或跟器壁碰撞外，不受力而做匀速直线运动

C. 由于气体分子间的距离较大，所以气体分子间根本不存在相互作用

D. 向各个方向运动的气体分子数目几乎相等

2. (分子运动速率分布规律)下列选项中,能正确描述某种气体分子速率分布规律的是 (　　)



3. (气体压强的微观解释)密闭容器中气体的压强 (　　)

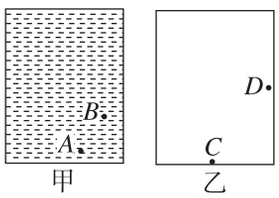
A. 是由于气体的重力而产生的

B. 是由于分子间的相互作用力而产生的

C. 是由于大量气体分子频繁碰撞器壁而产生的

D. 在失重的情况下等于零

4. (气体压强的微观解释)如图所示,两个完全相同的圆柱形密闭容器,甲中装满水,乙中充满空气,则下列说法正确的是(容器容积恒定,p_A、p_B、p_C、p_D 分别表示 A、B、C、D 处的压强) (　　)



A. 两容器中器壁的压强都是由于分子撞击器壁而产生的

B. 两容器中器壁的压强都是由所装物质的重力而产生的

C. 甲容器中 $p_A>p_B$,乙容器中 $p_C=p_D$

D. 当温度升高时,p_A、p_B 变大,p_C、p_D 也要变大

4　分子动能和分子势能

学习任务一　分子动能

[教材链接] 阅读教材,完成下列填空.

(1)分子动能:_____的动能叫作分子动能.

(2)分子平均动能:所有分子的动能的_____叫作分子热运动的平均动能.

(3)温度的微观意义:物体的温度是它的分子热运动的_____的标志.

[物理观念] (1)物体加速运动时,分子的平均动能_____(选填"会"或"不会")增大,原因是:分子的平均动能由_____决定,与_____无关.

(2)物体温度升高时,物体内每个分子的动能_____(选填"一定"或"不一定")都增加,因为,温度是_____无规则热运动的集体表现,对于个别分子,温度是没有意义的.

【辨别明理】

1. 相同温度的不同物体,分子的平均动能相同. (　　)

2. 只要温度相同,任何物体分子的平均速率都相同. (　　)

3. 物体温度升高时,分子的平均动能增大. (　　)

例 1 关于温度与分子动能的关系,下列说法正确的是 (　　)

A. 某物体的温度为 0 ℃,说明物体中分子的平均动能为零

B. 温度是分子热运动平均动能的标志

C. 温度较高的物体,其分子平均动能较大,则分子的平均速率也较大

D. 物体的运动速度越大,则物体的温度越高

【要点总结】

温度与分子平均动能关系的解题技巧

(1)温度升高,分子的平均动能增大,速率大的分子数增多,速率小的分子数减少,分子的平均速率增大.

(2)温度只与分子热运动有关,与物体的宏观机械运动无关.

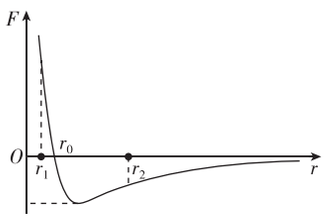
学习任务二　分子势能

[物理观念] 分子势能:分子间存在着相互_____,可以证明分子间的作用力所做的功与_____无关,分子组成的系统具有分子势能.

[科学推理] 分子间的作用力做功与分子势能变化的关系

分子距离	分子间的作用力做功	分子势能变化(规定无穷远处分子势能为零)	分子间的作用力和分子势能随分子间距离变化的图像
当 $r>r_0$ 时	分子间的作用力表现为_____;若 r 减小,分子间的作用力做____功	分子势能随分子间距离的减小而_____	
当 $r<r_0$ 时	分子间的作用力表现为_____;若 r 减小,分子间的作用力做_____功	分子势能随分子间距离的减小而_____	
当 $r=r_0$ 时	分子间的作用力等于0	分子势能_____	

例2 [2020·北京卷] 分子力 F 随分子间距离 r 的变化如图所示.将两分子从相距 $r=r_2$ 处释放,仅考虑这两个分子间的作用,下列说法正确的是 (　　)



A. 从 $r=r_2$ 到 $r=r_0$ 分子间引力、斥力都在减小

B. 从 $r=r_2$ 到 $r=r_1$ 分子力的大小先减小后增大

C. 从 $r=r_2$ 到 $r=r_0$ 分子势能先减小后增大

D. 从 $r=r_2$ 到 $r=r_1$ 分子动能先增大后减小

例3 (多选)两个分子由于距离发生变化而使得分子势能变小,则可以判断在这一过程中 (　　)

A. 一定是分子间的作用力做了正功

B. 两个分子间的相互作用力可能变大

C. 两个分子间的距离一定变大

D. 两个分子间的相互作用力一定是引力

【要点总结】

分子势能图像问题的解题技巧

(1)E_p-r、F-r 关系图像中拐点的意义不同.E_p-r 图像的最低点(分子势能最小值)对应的距离是分子平衡距离 r_0,而 F-r 图像的最低点(引力最大值)对应的距离大于 r_0.

(2) E_p-r 图像与 r 轴交点的横坐标小于 r_0,F-r 图像与 r 轴交点的横坐标等于平衡距离 r_0.

(3)要把图像上的信息转化为分子间距离,再求解其他问题.

学习任务三　物体的内能

[教材链接] 阅读教材,完成下列填空.

内能:物体中所有_____与_____的总和,叫作物体的内能.

[物理观念] 内能的决定因素

(1)从微观上看:物体的内能由组成物体的_____、分子热运动的_____和_____三个因素决定.

(2)从宏观上看:物体内能的大小由物体的_____、_____和_____三个因素决定.

例 4 关于物体的内能，下列说法中正确的是（　）

A. 物体的内能与物体的温度、体积都有关系

B. 体积相同的同种气体，它们的内能一定相等

C. 运动物体的速度增大，则分子动能增大，物体的内能也增大

D. 温度高的物体一定比温度低的物体内能大

[反思感悟]

【要点总结】

内能与机械能的区别和联系

项目	内能	机械能
对应的运动形式	微观分子热运动	宏观物体机械运动
能量常见形式	分子动能、分子势能	物体动能、重力势能和弹性势能
能量存在原因	由物体内大量分子的热运动和分子间相对位置决定	由于物体做机械运动或物体形变或被举高而具有
影响因素	物质的量、物体的温度和体积及物态	物体的机械运动的速度、相对于零势能面的高度或弹性形变程度
是否为零	永远不能等于零	一定条件下可以等于零
联系	在一定条件下可以相互转化	

随堂巩固

1.（分子动能和分子势能）下列说法正确的是（　）

A. 随着物体运动速度的增大，物体分子动能也增大

B. 随着物体运动速度的减小，物体分子动能也减小

C. 在两个相距很远的分子逐渐靠近到很难再靠近的过程中，分子间作用力越来越大

D. 分子势能和分子间作用力有可能同时随分子间的距离增大而增大

2.（物体的内能）[2021 · 北京卷] 比较 45 ℃ 的热水和 100 ℃ 的水蒸气，下列说法正确的是（　）

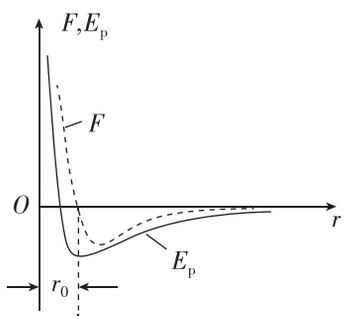
A. 热水分子的平均动能比水蒸气的大

B. 热水的内能比相同质量的水蒸气的小

C. 热水分子的速率都比水蒸气的小

D. 热水分子的热运动比水蒸气的剧烈

3.（分子势能）分子力 F、分子势能 E_p 与分子间距离 r 的关系图线如图所示（取无穷远处分子势能 $E_p=0$）. 若甲分子固定于坐标原点 O，乙分子从某处（两分子间的距离大于 r_0 而小于 $10r_0$）由静止释放，在分子力的作用下沿 r 正半轴靠近甲分子. 下列说法错误的是（　）



A. 在乙分子靠近甲分子的过程中，分子势能先减小后增大

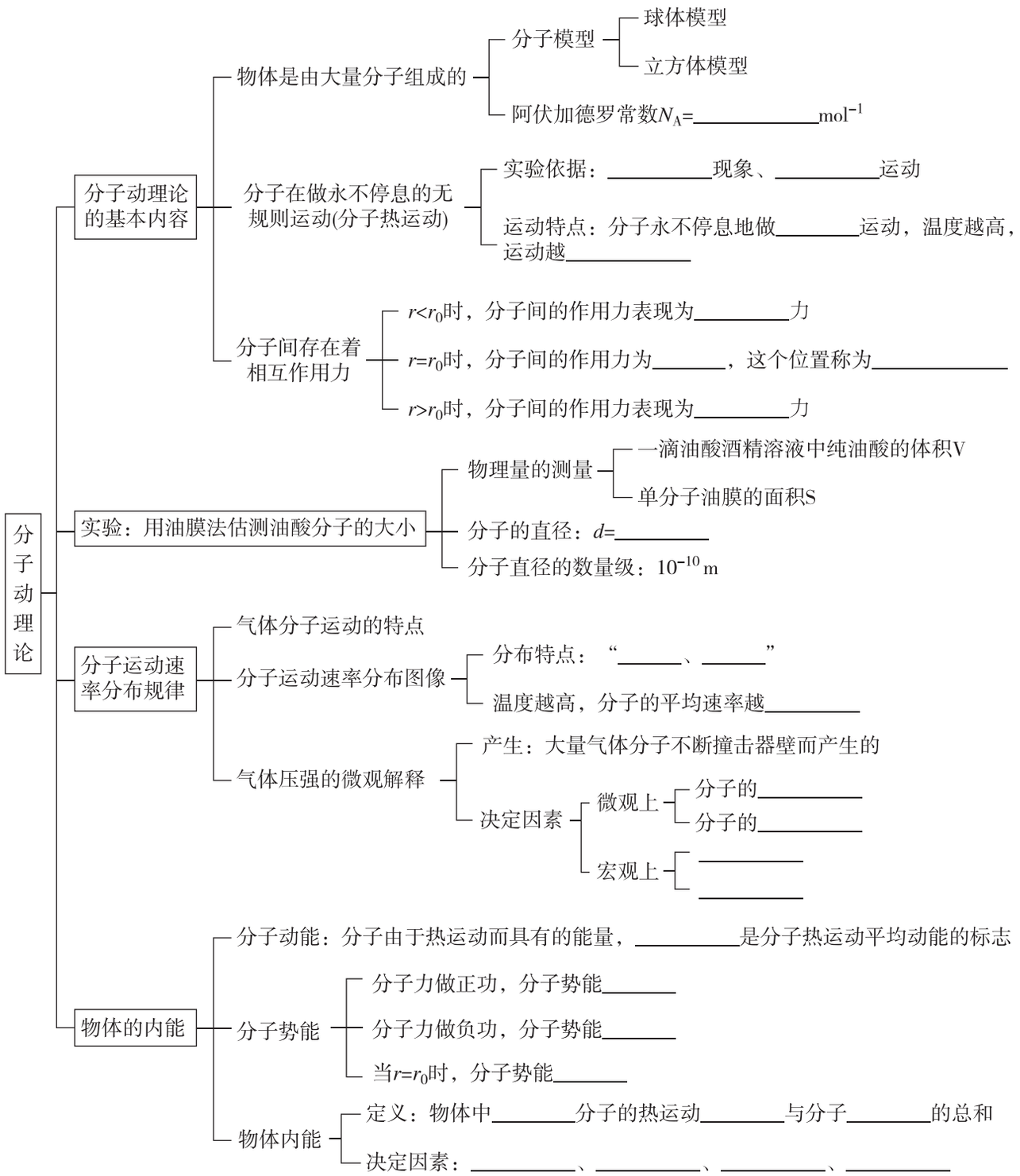
B. 在乙分子靠近甲分子的过程中，分子动能逐渐增大

C. 当乙分子距甲分子为 $r=r_0$ 时，速率最大

D. 当乙分子距甲分子为 $r=r_0$ 时，系统的分子势能最小

▶知识整合与通关（一）

【知识网络构建】



【本章易错通关】

易错点 1　估算时没有注意物态，误认为固体和液体与气体一样求解

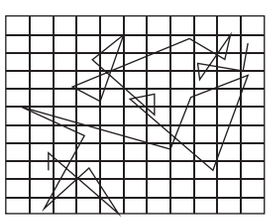
1. （多选）某气体的摩尔质量为 M，摩尔体积为 V，密度为 ρ，每个分子的质量和体积分别为 m 和 V_0，则阿伏加德罗常数 N_A 可表示为　（　）

A. $N_A=\dfrac{V}{V_0}$　　B. $N_A=\dfrac{\rho V}{m}$

C. $N_A=\dfrac{M}{m}$　　D. $N_A=\dfrac{M}{\rho V_0}$

易错点 2　不清楚布朗运动是固体小颗粒的无规则运动，不理解“无规则”的含义

2. 做布朗运动实验，得到某个观测记录如图，图中记录的是　（　）



A. 分子无规则运动的情况

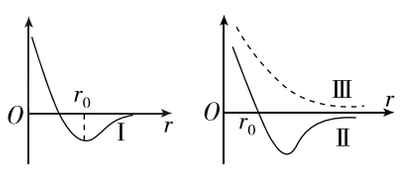
B. 某个微粒做布朗运动的轨迹

C. 某个微粒做布朗运动的速度—时间图线

D. 按等时间间隔依次记录的某个运动微粒位置的连线

易错点 3　混淆分子力与宏观力，分不清分子势能和分子力随分子间距离 r 变化的图像

3. 图甲、乙中曲线Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别描述了某物理量随分子之间的距离变化的规律，r_0 为平衡位置. 现有如下物理量：①分子势能，②分子间引力，③分子间斥力，④分子间引力和斥力的合力，则曲线Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ对应的物理量分别是　（　）



甲　　乙

A. ①③②

B. ②④③

C. ④①③

D. ①④③

易错点 4　不能正确理解物体机械能和内能的关系

4. 关于分子的热运动，下列说法正确的是（　）

A. 由于物体被举高，组成物体的分子的分子势能增大

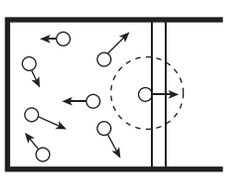
B. 分子间的作用力为 0 时分子势能最小

C. 同一个物体，运动时的内能一定比静止时的内能大

D. 用气筒给自行车车胎打气时要用力才能压缩空气，这说明空气分子间存在斥力

易错点 5　不理解气体压强是大量分子无规则运动产生的

5. 从分子动理论的观点来看，气体分子间距离比较大，分子间的作用力很弱，气体对容器的压强源于气体分子的热运动. 当它们飞到器壁时，就会跟器壁发生碰撞（可视为弹性碰撞），对器壁产生作用力从而产生压强，如图所示. 设气体分子的质量为 m，气体分子热运动的平均速率为 v. 下列说法正确的是　（　）



A. 气体分子除了相互碰撞或者跟器壁碰撞外，可视为匀速直线运动

B. 在某一时刻，向各个方向运动的气体分子数目差距很大

C. 每个气体分子跟器壁发生碰撞过程中，施加给器壁的冲量大小为 $2mv$

D. 若增大气体体积，则气体压强一定减小