



教辅图书



功能学具



学生之家

基础教育行业专研品牌

30⁺年创始人专注教育行业

全品学练考

AI智慧升级版

主编 肖德好

练习册

高中化学

选择性必修1 RJ



本书为智慧教辅升级版

“讲题智能体”支持学生聊着学，扫码后哪里不会选哪里；随时随地想聊就聊，想问就问。



长江出版传媒
崇文书局

01

课时内容划分不同学习任务并从【课前自主预习】、【核心知识讲解】、【知识迁移应用】逐级推进，结构合理使用便捷。

第二节 反应热的计算

新课探究

知识导学 素养初识

◆ 学习任务一 盖斯定律

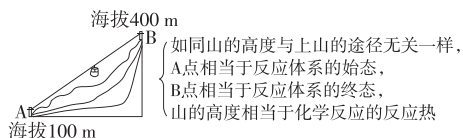
【课前自主预习】

1. 内容

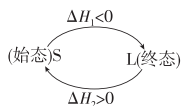
一个化学反应，不管是一步完成的还是分几步完成的，其反应热是_____（填“相同”或“不同”）的。

2. 理解与特点

(1) 从反应途径角度理解



(2) 从能量守恒角度理解



从 S→L, $\Delta H_1 < 0$, 体系_____；从 L→S, $\Delta H_2 > 0$, 体系_____；根据能量守恒： $\Delta H_1 + \Delta H_2 = 0$ 。

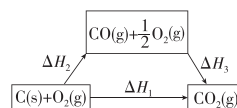
(3) 特点

在一定条件下，化学反应的反应热只与反应体系的_____和_____有关，而与反应的_____无关。

3. 应用

(1) 可以间接计算一些不易直接发生的、伴随副反应发生的、反应进行很慢的的反应的反应热。

(2) 示例



已知：① $\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g})$

$\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ；

② $\text{CO(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g})$

$\Delta H_3 = -283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

分析上述热化学方程式的关系，将反应①减去反应

②，得到反应： $\text{C(s)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO(g)}$ 。根据盖斯

定律可得： $\Delta H_1 = \Delta H_2 + \Delta H_3$ ，则有 $\Delta H_2 = \Delta H_1 - \Delta H_3 = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} - (-283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

【问题思考】

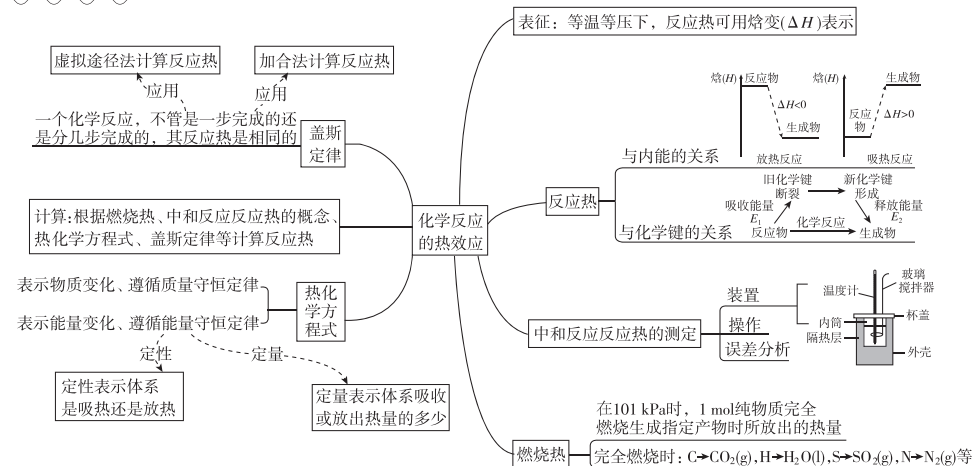
炭在火炉中燃烧很旺时，再往炉膛内红热的炭上喷洒少量水的瞬间，炉子内火会更旺。炭作为燃料可通过下列两种途径：

02

章节内容构建知识网络，帮助学生知识碎片网络化、结构化，促进整体及局部的掌握与熟练化。

► 本章素养提升

知识网络





整合突破2 平衡常数计算及应用

考情分析

年份	2021	2022	2023	2024
题号	浙江 1 月选考 T29, 湖南 T16, 广东 T19, 山东 T20	全国甲 T28, 全国乙 T28, 河北 T16, 江苏 T10, 湖南 T14, T16, 山东 T20	福建 T13, 河北 T17, 湖南 T13、T16, 山东 T20, 全国甲 T28, 全国乙 T28	湖南 T14, 全国甲 T28, 全国新课标 T29, 安徽 T17, 山东 T20, 湖南 T18, 河北 T17
考查方向	书写平衡常数表达式、计算平衡常数的数值(特别是近几年的考查热点:压强平衡常数 K_p)、运用平衡常数判断反应进行的方向以及运用平衡常数求算反应物的转化率等			
学科素养	证据推理与模型认知、变化观念与平衡思想等学科核心素养			

解题策略

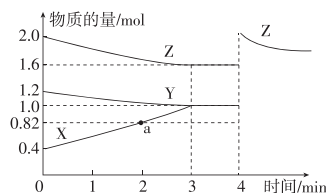
◆ 类型一 三段式法计算化学平衡常数

三段式法就是依据化学方程式列出各物质的起始量、变化量和平衡量,然后根据已知条件建立代数等式而进行解题的一种方法。这是解答化学平衡计算题的一种“万能方法”,只要已知起始量和转化率就可用三段式法解题。对于反应前后气体体积变化的反应,如果已知反应前气体的总物质的量与反应后气体的总物质的量的差值,也可用差量法解题。

例 1 某温度下,在容积恒为 2 L 的密闭容器中, X(g)、Y(g)、Z(g) 三种物质的物质的量随时间变化的曲线如图所示,已知 4 min 时改变了一个条件。下列

说法正确的是

()



- A. 反应进行到 a 点时, Z 的转化率为 10%
 B. 此温度下, 3 min 时向容器中再通入 1 mol X(g) 和 1 mol Y(g), 此时 $v_{\text{正}} < v_{\text{逆}}$
 C. 该温度下, 反应的平衡常数为 $\frac{5}{8}$
 D. 该反应的化学方程式为 $Z(g) + Y(g) \rightleftharpoons 3X(g)$

第一节 反应热

第 1 课时 反应热 焓变

(时间:40 分钟 总分:40 分)

(选择题每题 3 分,共 27 分)

基础对点练

◆ 学习任务一 反应热及其测定

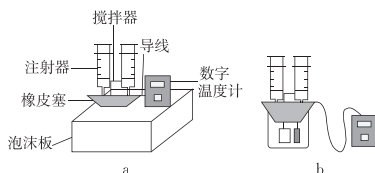
1. [2024·广东广州高二期中] 在测定中和反应反应热的实验中,下列说法正确的是 ()
 A. 为了加快反应速率,可以用铜丝搅拌,减小实验误差
 B. 为了准确测定反应混合溶液的温度,实验中温度计水银球应与内筒底部接触
 C. 在测定中和反应反应热的实验中,需要使用的仪器有天平、量筒、量热计、温度计
 D. 用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液分别与 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸、醋酸溶液反应,若所取的溶液体积都相等,则生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 时盐酸对应 ΔH 比醋酸的小

◆ 学习任务二 反应热与焓变

3. [2024·浙江温州新力量联盟高二期中联考] 下列反应既属于氧化还原反应,又属于吸热反应的是 ()
 A. 灼热的炭与 CO_2 反应
 B. $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 与 NH_4Cl 反应
 C. 铁与稀盐酸反应
 D. 己烷在氧气中燃烧

综合应用练

8. 下列诗词描述的变化中,放热反应和吸热反应都有发生的是 ()
 A. 南宋·辛弃疾《青玉案·元夕》中“东风夜放花千树。更吹落,星如雨”描述元宵夜的花灯和焰火
 B. 明·于谦《石灰吟》中“粉骨碎身浑不怕,要留清白在人间”用石灰石比拟报国志士
 C. 北宋·苏轼《石炭》中“投泥泼水愈光明,烁玉流金见精悍”描写了煤炭的性质
 D. 北宋·王安石《元日》中“爆竹声中一岁除,春风送暖入屠苏”描述了春节的习俗
 9. 测定中和反应反应热的数字化实验如图所示。将 b 装置嵌入挖好孔的泡沫板中,两支注射器中分别装有 5 mL $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸和 5 mL $0.55 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液。下列说法正确的是 ()



CONTENTS



01 第一章 化学反应的热效应

PART ONE

第一节 反应热	001
第 1 课时 反应热 焓变	001
第 2 课时 热化学方程式 燃烧热	003
第二节 反应热的计算	005

02 第二章 化学反应速率与化学平衡

PART TWO

第一节 化学反应速率	007
第 1 课时 化学反应速率	007
第 2 课时 影响化学反应速率的因素	009
第 3 课时 活化能	011
整合突破 1 有关反应历程与能量变化的图像分析	013
第二节 化学平衡	015
第 1 课时 化学平衡状态	015
第 2 课时 化学平衡常数	017
第 3 课时 影响化学平衡的因素	019
整合突破 2 平衡常数计算及应用	022
整合突破 3 化学反应速率与平衡图像分析	024
第三节 化学反应的方向	027
第四节 化学反应的调控	029

03 第三章 水溶液中的离子反应与平衡

PART THREE

第一节 电离平衡	031
第二节 水的电离和溶液的 pH	034
第 1 课时 水的电离 溶液的酸碱性 with pH	034
第 2 课时 pH 的计算	036
第 3 课时 酸碱中和滴定	038
整合突破 4 中和滴定拓展——氧化还原滴定	040

第三节 盐类的水解	042
第 1 课时 盐类的水解	042
第 2 课时 影响盐类水解的主要因素 盐类水解的应用	044
第 3 课时 溶液中粒子浓度大小的比较	047
整合突破 5 电解质溶液中的常考曲线	049
第四节 沉淀溶解平衡	052
第 1 课时 难溶电解质的沉淀溶解平衡	052
第 2 课时 沉淀溶解平衡的应用	054
整合突破 6 难溶电解质沉淀溶解平衡曲线分析	056

04 第四章 化学反应与电能

PART FOUR

第一节 原电池	059
第 1 课时 原电池的工作原理	059
第 2 课时 化学电源——一次电池和二次电池	061
第 3 课时 化学电源——燃料电池	063
第二节 电解池	065
第 1 课时 电解原理	065
第 2 课时 电解原理的应用	067
整合突破 7 电化学装置中的离子交换膜	070
第三节 金属的腐蚀与防护	072

■ 参考答案 (练习册) [另附分册 P075~P114]

■ 导学案 [另附分册 P115~P248]

» 测 评 卷

单元素养测评卷(一) [第一章 化学反应的热效应]	卷 001
单元素养测评卷(二) [第二章 化学反应速率与化学平衡]	卷 005
单元素养测评卷(三) [第三章 水溶液中的离子反应与平衡]	卷 009
单元素养测评卷(四) [第四章 化学反应与电能]	卷 013
参考答案	卷 017

第一章 化学反应的热效应

第一节 反应热

第1课时 反应热 焓变

(时间:40分钟 总分:40分)

(选择题每题3分,共27分)

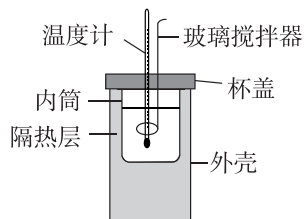
基础对点练

◆ 学习任务一 反应热及其测定

1. [2024·广东广州高二期中] 在测定中和反应反应热的实验中,下列说法正确的是 ()

- A. 为了加快反应速率,可以用铜丝搅拌,减小实验误差
- B. 为了准确测定反应混合溶液的温度,实验中温度计水银球应与内筒底部接触
- C. 在测定中和反应反应热的实验中,需要使用的仪器有天平、量筒、量热计、温度计
- D. 用 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液分别与 $0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸、醋酸溶液反应,若所取的溶液体积都相等,则生成 $1\text{ mol H}_2\text{O(l)}$ 时盐酸对应 ΔH 比醋酸的小

2. [2024·福建泉州高二期中] 中和反应反应热的测定实验中,用 $50\text{ mL } 0.5\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 稀盐酸和 $50\text{ mL } 0.55\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOH 溶液进行实验。下列说法错误的是 ()



- A. 所加 NaOH 溶液过量,目的是保证盐酸完全被中和
- B. 使用玻璃搅拌器是为了使反应物混合均匀,充分反应,减小实验误差
- C. 进行中和反应反应热的测定实验时,NaOH 溶液要迅速倒入稀盐酸中
- D. 若用 NaOH 固体测定中和反应的反应热,则生成 $1\text{ mol H}_2\text{O(l)}$ 时,测得的 ΔH 偏高

◆ 学习任务二 反应热与焓变

3. [2024·浙江温州新力量联盟高二期中联考] 下列反应既属于氧化还原反应,又属于吸热反应的是 ()

A. 灼热的炭与 CO_2 反应

B. $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 与 NH_4Cl 反应

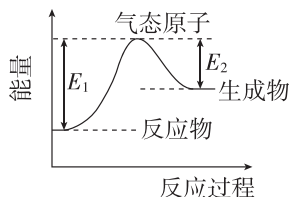
C. 铁与稀盐酸反应

D. 己烷在氧气中燃烧

4. 现代社会中人类的一切活动都离不开能量,能量与化学反应关系密切。下列说法正确的是 ()

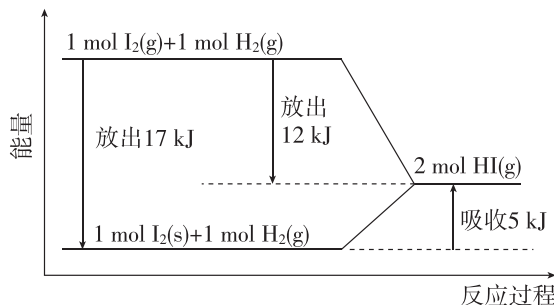
- A. 吸热反应必须加热才能进行
- B. $\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 晶体和 NH_4Cl 晶体研细混合后发生的反应为放热反应
- C. 若化学键形成时释放的能量小于旧化学键被破坏时需要吸收的能量,反应吸收能量
- D. 煤、石油和天然气均为化石能源,是可再生能源

5. [2025·广东江门高二开学考] 化学反应中常常伴随着能量的变化,某气体反应的能量变化如图所示,下列叙述正确的是 ()

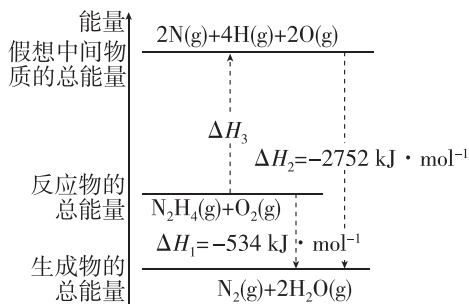


- A. 该反应不一定需要加热
- B. $\Delta H = E_2 - E_1$
- C. 该反应的反应物一定比生成物稳定
- D. 该反应断开所有反应物的化学键所吸收的能量小于形成所有生成物的化学键所释放的能量

6. [2024·湖南娄底高二期末] 我们知道,任何化学反应过程中一定有物质变化,同时伴随着能量变化。关于下图的说法不正确的是 ()



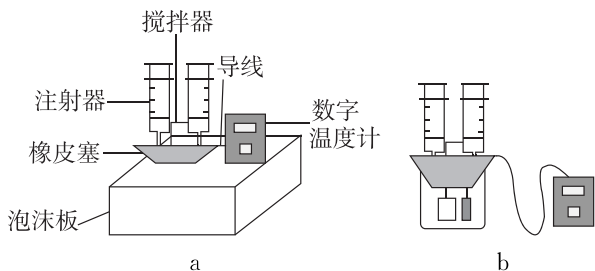
- A. 1 mol 固态碘与 1 mol 氢气化合生成 2 mol HI 气体时,需要吸收 5 kJ 的能量
 B. 2 mol HI 气体分解生成 1 mol 碘蒸气与 1 mol 氢气时需要吸收 12 kJ 的能量
 C. 1 mol 固态碘变为 1 mol 碘蒸气时需要吸收 17 kJ 的能量
 D. 碘蒸气与氢气生成 HI 气体的反应是吸热反应
7. 已知某条件下,断裂 1 mol 化学键所需的能量:
 $\text{N}\equiv\text{N}$ 为 942 kJ、 $\text{O}=\text{O}$ 为 500 kJ、 $\text{N}-\text{N}$ 为 154 kJ、
 $\text{O}-\text{H}$ 为 452.5 kJ,则该条件下,断裂 1 mol $\text{N}-\text{H}$ 所需的能量是 ()



- A. 194 kJ B. 316 kJ C. 391 kJ D. 658 kJ

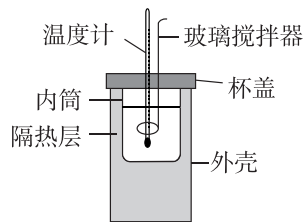
综合应用练

8. 下列诗词描述的变化中,放热反应和吸热反应都有发生的是 ()
 A. 南宋·辛弃疾《青玉案·元夕》中“东风夜放花千树。更吹落,星如雨”描述元宵夜的花灯和焰火
 B. 明·于谦《石灰吟》中“粉骨碎身浑不怕,要留清白在人间”用石灰石比拟报国土志士
 C. 北宋·苏轼《石炭》中“投泥泼水愈光明,烁玉流金见精悍”描写了煤炭的性质
 D. 北宋·王安石《元日》中“爆竹声中一岁除,春风送暖入屠苏”描述了春节的习俗
9. 测定中和反应反应热的数字化实验如图所示。将 b 装置嵌入挖好孔的泡沫板中,两支注射器中分别装有 5 mL 0.50 mol·L⁻¹ 盐酸和 5 mL 0.55 mol·L⁻¹ NaOH 溶液。下列说法正确的是 ()



- A. 由于实验实行数字化,搅拌器可为铜丝或塑料
 B. 泡沫板只是起到支撑稳固仪器的作用
 C. 数字温度计测量盐酸的温度后,可直接测量 NaOH 溶液的温度
 D. 应快速将注射器中的溶液注入烧杯中并转动搅拌器,记录温度最大值

10. (13 分)[2024·湖北武汉四中高二月考] 已知稀酸与稀碱中和生成 1 mol $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的反应热叫作中和热,某学习小组拟用如图所示装置来测定中和热。其主要过程如下:



I. 测定强酸强碱的中和热

(1)(2 分)该组同学共设计出以下 3 种测定方案,通过测定反应过程中释放的热量来计算中和热($\Delta H_{\text{中和}}$)。

- A. 测定 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 HCl 溶液与 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液反应所放出的热量
 B. 测定 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 HCl 溶液与 50 mL 0.50 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液反应所放出的热量
 C. 测定 50 mL 0.50 mol·L⁻¹ 的 HCl 溶液与 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液反应所放出的热量
 请选出合理的方案:_____。

(2)(3 分)取 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液和 50 mL 0.50 mol·L⁻¹ 的 HCl 溶液进行实验,实验数据如下表:

实验序号	起始温度 $t_1/^\circ\text{C}$		终止温度 $t_2/^\circ\text{C}$
	盐酸	NaOH 溶液	混合溶液
1	21.0	21.1	24.3
2	21.2	21.4	24.5
3	21.5	21.6	24.7
4	20.9	21.1	25.8

近似认为 0.55 mol·L⁻¹ NaOH 溶液和 0.50 mol·L⁻¹ HCl 溶液的密度都是 1 g·cm⁻³,中和后生成溶液的比热容 $c = 4.18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ 。则中和热 $\Delta H_{\text{中和}} =$ _____ (取小数点后一位)。

(3)(3 分)上述实验结果与 -57.3 kJ·mol⁻¹ 有偏差,产生这种偏差的可能原因是_____。

- A. 用温度计测定稀盐酸起始温度后直接测定 NaOH 溶液的温度
 B. 分多次把 NaOH 溶液倒入盛有盐酸的内筒中
 C. 量取盐酸时俯视读数

II. 测定醋酸与 NaOH 溶液的中和热

该组同学设计出以下测定方案,通过测定反应过程中释放的热量来计算中和热($\Delta H'_{\text{中和}}$)。测定 50 mL 0.50 mol·L⁻¹ 醋酸溶液与 50 mL 0.55 mol·L⁻¹ 的 NaOH 溶液反应放出的热量。

(4)(5 分)该同学坚持用环形铜丝代替玻璃搅拌器,你认为可不可行? _____,理由是_____。

(选择题每题3分,共30分)

基础对点练

◆ 学习任务一 热化学方程式

1. 下列有关热化学方程式的说法错误的是 ()
- A. 热化学方程式未注明温度和压强时, ΔH 表示标准状况下的数据
- B. 热化学方程式中, 各物质的化学计量数不表示分子个数, 只代表该物质的物质的量
- C. 同一化学反应, 化学计量数不同, 则 ΔH 不同; 化学计量数相同而状态不同, ΔH 也不同
- D. 化学反应过程中所吸收或放出的热量与参加反应的物质的物质的量成正比
2. 下列有关 $\text{H}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的说法正确的是 ()
- A. 代表所有的酸碱中和反应
- B. 反应物一定是强酸与强碱
- C. 强酸与强碱的中和反应的热化学方程式都可以这样表示
- D. 表示稀的强酸溶液与稀的强碱溶液反应生成可溶性盐和 1 mol 液态水时放出 57.3 kJ 热量
3. 1 g 氢气完全燃烧生成液态水, 放出 142.9 kJ 热量。下列热化学方程式正确的是 ()
- A. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -142.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- B. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -142.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- D. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = +285.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
4. [2025·广东三校高二联考] 下列热化学方程式正确的是(ΔH 的绝对值均正确) ()
- A. $2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2 \quad \Delta H = +116.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (反应热)
- B. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -1234.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (燃烧热)
- C. $\text{NaOH}(\text{aq}) + \text{HCl}(\text{aq}) = \text{NaCl}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = +57.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (中和反应反应热)
- D. $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -196.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

5. (8分) 依据实验数据, 写出下列反应的热化学方程式。

(1)(2分) 1 mol $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 与足量 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应, 生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 放出 1411 kJ 的热量。

_____。

(2)(2分) 1 mol $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$ 与足量 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应, 生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 放出 1367 kJ 的热量。

_____。

(3)(2分) 2 mol $\text{Al}(\text{s})$ 与足量 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应, 生成 $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$, 放出 1 669.8 kJ 的热量。

_____。

(4)(2分) 18 g 葡萄糖与足量 $\text{O}_2(\text{g})$ 反应, 生成 $\text{CO}_2(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, 放出 280.4 kJ 的热量。

_____。

◆ 学习任务二 燃烧热

6. [2024·天津河西高二期中考] 如下反应可表示相应纯物质燃烧热的热化学方程式的是 ()

- A. $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g})$
 $\Delta H = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- B. $2\text{CH}_4(\text{g}) + 4\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -1780.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -241.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- D. $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{S}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -632 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

7. 101 kPa 时, 下列热化学方程式中的 ΔH 可表示燃烧热的是 ()

- A. $\text{C}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}(\text{g})$
 $\Delta H = -110.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- B. $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. $4\text{NH}_3(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) = 4\text{NO}(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 $\Delta H = -226 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- D. $\text{C}_8\text{H}_{18}(\text{l}) + \frac{25}{2}\text{O}_2(\text{g}) = 8\text{CO}_2(\text{g}) + 9\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -5518 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

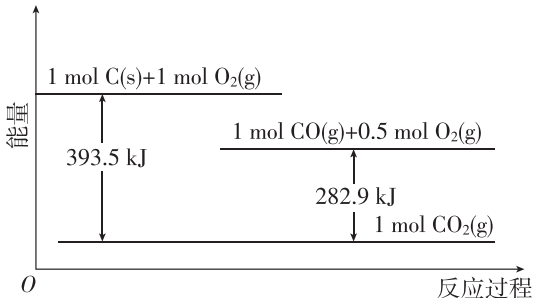
8. 在 25 ℃ 和 101 kPa 时,几种燃料的燃烧热如下表:

燃料	CO(g)	H ₂ (g)	CH ₄ (g)	CH ₃ OH(l)
$\Delta H /$ (kJ · mol ⁻¹)	-283.0	-285.8	-890.3	-726.5

- 下列说法正确的是 ()
- A. 相同质量的上述四种燃料完全燃烧时,甲烷放出的热量最多
- B. CO 燃烧的热化学方程式为 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -283.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. 常温常压下,1 mol 甲醇液体完全燃烧生成 CO₂ 气体和水蒸气放出热量 726.5 kJ
- D. 标准状况下,相同体积的 CO、H₂、CH₄ 完全燃烧的碳排放量:CO=CH₄>H₂

综合应用练

9. 已知: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 $\Delta H = -571.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 $\text{CO}(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$
 $\Delta H = -282.9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 某 H₂ 和 CO 的混合气体完全燃烧时放出 113.74 kJ 热量,同时生成 3.6 g 液态水,则原混合气体中 H₂ 和 CO 的物质的量之比为 ()
- A. 2 : 1 B. 1 : 2
 C. 1 : 1 D. 2 : 3
10. [2025 · 安徽江淮名校高二期中] 化学反应伴随着能量变化,根据如图所示能量关系示意图,下列说法正确的是 ()



- A. 1 mol C(s)和 1 mol O₂(g)的能量之和为 393.5 kJ
- B. CO 气体燃烧的热化学方程式为 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -565.8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. C 的燃烧热的热化学方程式为 $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -221.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

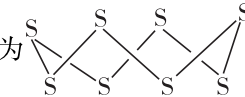
D. 反应 $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$ 中,生成物的总能量大于反应物的总能量

11. 标准状态下,下列物质气态时的相对能量如下表:

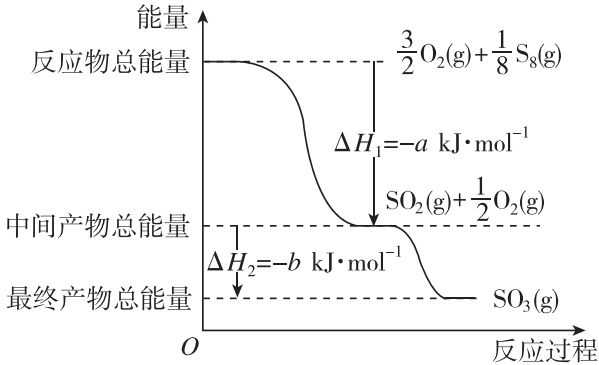
气态物质	H ₂	O ₂	H	O	HO	H ₂ O	H ₂ O ₂
能量/ (kJ · mol ⁻¹)	0	0	218	249	39	-242	-136

- 可根据 $\text{HO}(\text{g}) + \text{HO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2(\text{g})$ 计算出 H₂O₂ 中氧氧单键的键能为 214 kJ · mol⁻¹。下列说法不正确的是 ()
- A. H₂ 的键能为 436 kJ · mol⁻¹
- B. $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HO}(\text{g}) \quad \Delta H = -214 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- C. O₂ 的键能大于 H₂O₂ 中氧氧单键的键能的两倍
- D. $2\text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
 $\Delta H = -212 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

12. (7 分) 已知单质硫在通常条件下以 S₈(斜方硫)

的形式存在,其结构为  (皇冠状)。

在一定条件下,S₈(g)与 O₂(g)发生反应依次转化为 SO₂(g)和 SO₃(g)。反应过程和能量关系的简单表示如图所示(图中的 ΔH 表示生成 1 mol 产物的反应热)。



- (1)(2 分) 写出表示 S₈(g) 燃烧热的热化学方程式: _____。
- (2)(2 分) 写出 SO₃(g) 分解生成 SO₂(g) 和 O₂(g) 的热化学方程式: _____。
- (3)(3 分) 键能是指气态分子中 1 mol 化学键解离成气态原子所吸收的能量。若已知二氧化硫中的硫氧键的键能为 d kJ · mol⁻¹,氧气中氧氧键的键能为 e kJ · mol⁻¹,则 S₈ 分子中硫硫键的键能为 _____。

第二节 反应热的计算

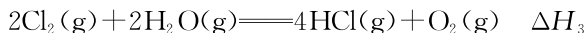
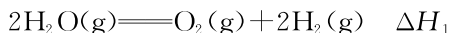
(时间:40 分钟 总分:40 分)

(选择题每题 3 分,共 27 分)

基础对点练

◆ 学习任务一 盖斯定律

1. 已知 298 K、101 kPa 时:



则 ΔH_3 与 ΔH_1 和 ΔH_2 间的关系正确的是 ()

A. $\Delta H_3 = \Delta H_1 + 2\Delta H_2$

B. $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2$

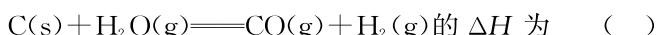
C. $\Delta H_3 = \Delta H_1 - 2\Delta H_2$

D. $\Delta H_3 = \Delta H_1 - \Delta H_2$

2. 已知:① $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H =$

$$-221.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$
;② $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

$$\Delta H = -483.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$
。则制备水煤气的反应



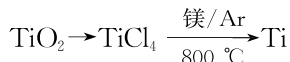
A. $+262.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

B. $-131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

C. $-352.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

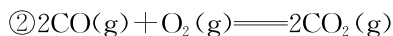
D. $+131.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

3. [2024·北京大兴区高二期末] TiCl_4 是由钛精矿(主要成分为 TiO_2)制备钛(Ti)的重要中间产物。

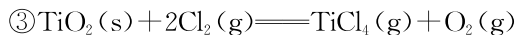


已知:① $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g})$

$$\Delta H = -393.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



$$\Delta H = -566.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



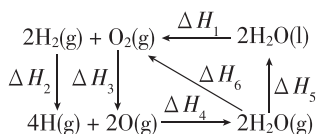
$$\Delta H = +175.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

则 $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{C}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{TiCl}_4(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g})$ 的 ΔH 是 ()

A. $-45.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $-169.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

C. $+169.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $+45.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

4. [2025·重庆重点中学高二联考] 几种物质间的转化焓变如图所示,下列说法不正确的是 ()



A. $\Delta H_3 > \Delta H_4$

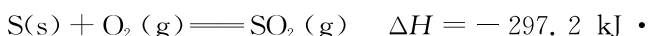
B. $\Delta H_1 < \Delta H_6$

C. $\Delta H_1 + \Delta H_5 = -(\Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4)$

D. $\Delta H_1 + \Delta H_5 = \Delta H_6$

◆ 学习任务二 反应热的计算

5. [2024·福建华安一中高二月考] 对于反应:



mol^{-1} ,下列说法不正确的是 ()

A. 1 mol S(s)与 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 的总能量比 1 mol $\text{SO}_2(\text{g})$ 的总能量高

B. $\text{SO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H = +297.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

C. $\frac{1}{2}\text{S}(\text{s}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{SO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -148.6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

D. 1 mol S(g)与 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 反应生成 1 mol $\text{SO}_2(\text{g})$ 放出的热量少于 297.2 kJ

6. [2024·河北保定高二期末] 通常人们把拆开 1 mol 某化学键所消耗的能量看成该化学键的键能,键能的大小可以衡量化学键的强弱,也可用于估算化学反应的反应热。已知:1 mol Si(s)含 2 mol Si—Si,

化学键	Si—O	Si—Cl	H—H	H—Cl	Si—Si	Si—C
键能/(kJ·mol ⁻¹)	460	360	436	431	176	347

工业上高纯硅可通过下列反应制取: $\text{SiCl}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{Si}(\text{s}) + 4\text{HCl}(\text{g})$,该反应的 ΔH 为 ()

A. $+236 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ B. $-236 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

C. $+412 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ D. $-412 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

7. 已知:① $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

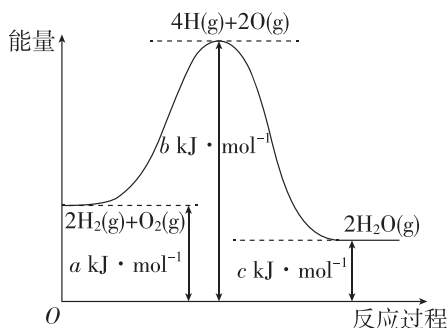
$$\Delta H_1 = a \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



H—H、O=O 和 O—H 的键能分别为 436 kJ·mol⁻¹、496 kJ·mol⁻¹ 和 462 kJ·mol⁻¹,则 a 为 ()

A. -332 B. -118 C. +350 D. +130

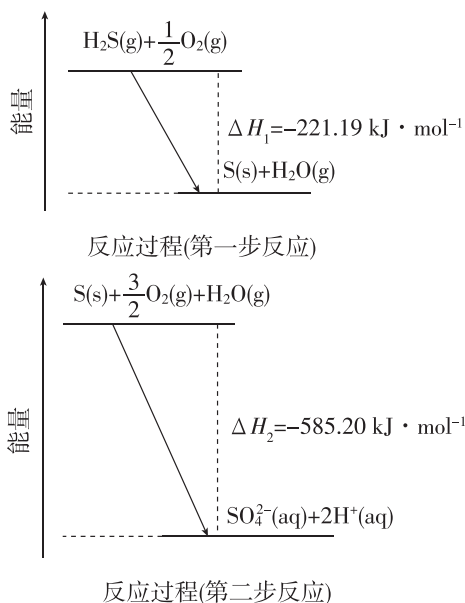
8. 一定条件下, $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的能量变化如图所示,下列说法正确的是 ()



- A. 该反应的反应热 $\Delta H = (c - a) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 B. 该反应为吸热反应
 C. 断裂 2 mol H—H 和 1 mol $\text{O}_2(\text{g})$ 中氧氧键放出 $(b - a) \text{ kJ}$ 能量
 D. 表示 H_2 燃烧热的热化学方程式为 $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \quad \Delta H = \frac{c - a}{2} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

综合应用练

9. [2024 · 北京朝阳区高二检测] 土壤中的微生物可将大气中的 H_2S 经两步反应氧化成 SO_4^{2-} , 两步反应的能量变化如图所示。



- 下列说法不正确的是 ()
 A. O 的非金属性大于 S, 推知热稳定性: $\text{H}_2\text{O} > \text{H}_2\text{S}$
 B. 两步反应中化学键断裂吸收的总能量均小于化学键形成释放的总能量
 C. $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 2\text{H}^+(\text{aq}) \quad \Delta H = -364.01 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 D. 结合 $\text{S}(\text{s})$ 的燃烧热, 可求算 $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 ΔH

10. (7 分) (1) (2 分) 在 25°C 、 101 kPa 下, 一定质量的无水乙醇完全燃烧时放出 $Q \text{ kJ}$ 热量, 其燃烧生成的 CO_2 用过量饱和石灰水吸收可得 100 g CaCO_3 沉淀, 则乙醇燃烧的热化学方程式为 _____。

(2) (2 分) 在一定条件下, 将 $1 \text{ mol N}_2(\text{g})$ 和 $3 \text{ mol H}_2(\text{g})$ 充入一密闭容器中发生反应生成氨气, 达到平衡时 N_2 的转化率为 25%, 放出 $Q \text{ kJ}$ 的热量, 写出 N_2 与 H_2 反应的热化学方程式: _____。

(3) (3 分) SiHCl_3 在催化剂作用下发生反应:



$$\Delta H_1 = +48 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$



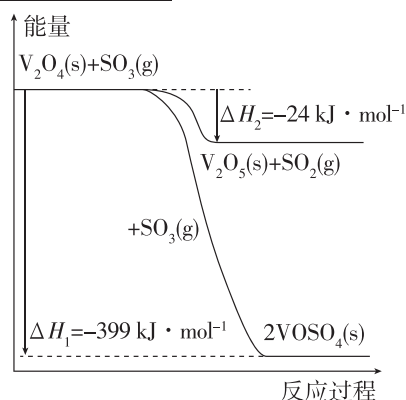
$$\Delta H_2 = -30 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

则反应 $4\text{SiHCl}_3(\text{g}) = \text{SiH}_4(\text{g}) + 3\text{SiCl}_4(\text{g})$ 的 ΔH 为 _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

11. (6 分) 根据要求填空。

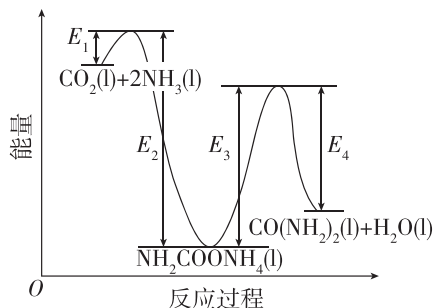
(1) (3 分) 硫酸是一种重要的基本化工产品。接触法制硫酸生产中的关键工序是 SO_2 的催化氧化: $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{钒催化剂}} \text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

钒催化剂参与反应的能量变化如图所示, $\text{V}_2\text{O}_5(\text{s})$ 与 $\text{SO}_2(\text{g})$ 反应生成 $\text{VOSO}_4(\text{s})$ 和 $\text{V}_2\text{O}_4(\text{s})$ 的热化学方程式为 _____。



(2) (3 分) 二十世纪初, 工业上以 CO_2 和 NH_3 为原料在一定温度和压强下合成尿素。反应分两步:

- CO_2 和 NH_3 生成 $\text{NH}_2\text{COONH}_4$;
- $\text{NH}_2\text{COONH}_4$ 分解生成尿素。



试写出 $\text{CO}_2(\text{l})$ 和 $\text{NH}_3(\text{l})$ 反应生成 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2(\text{l})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$ 的热化学方程式: _____。

第二章 化学反应速率与化学平衡

第一节 化学反应速率

第1课时 化学反应速率

(时间:40分钟 总分:45分)

(选择题每题3分,共36分)

基础对点练

◆ 学习任务一 化学反应速率

1. [2024·北京丰台区高二期中] 在一定条件下发生反应 $2A(g) \rightleftharpoons 2B(g) + C(g)$, 将 2 mol A 通入 2 L 容积恒定的密闭容器中, 若维持容器内温度不变, 5 min 末测得 A 的物质的量为 0.8 mol。用 B 的浓度变化来表示该反应的速率(单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) 为 ()

A. 0.24 B. 0.08 C. 0.06 D. 0.12

2. [2024·北京昌平区高二期末] 在 2 L 恒容密闭容器中发生反应 $A(g) + 4B(g) \rightleftharpoons 2C(g) + 2D(g)$ 。已知 2 min 内 B 的物质的量由 6 mol 变为 2 mol, 下列叙述不正确的是 ()

A. $v(A) = 0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
B. $v(B) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
C. $v(C) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
D. $v(B) : v(D) = 1 : 2$

3. [2024·北京石景山区高二期末] 已知: $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightleftharpoons 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}(g)$, 若反应速率分别用 $v(\text{NH}_3)$ 、 $v(\text{O}_2)$ 、 $v(\text{NO})$ 、 $v(\text{H}_2\text{O})$ (单位均为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) 表示, 则正确的关系式是 ()

A. $\frac{4}{5}v(\text{NH}_3) = v(\text{O}_2)$ B. $\frac{5}{6}v(\text{O}_2) = v(\text{H}_2\text{O})$
C. $\frac{2}{3}v(\text{NH}_3) = v(\text{H}_2\text{O})$ D. $\frac{4}{5}v(\text{O}_2) = v(\text{NO})$

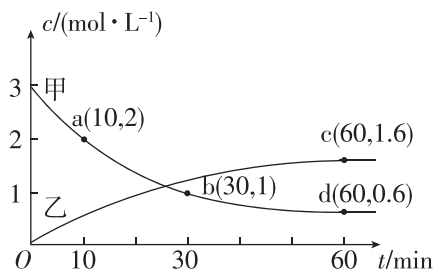
4. [2024·天津河西区高二期中] 在一定条件下发生反应 $2X(g) \rightleftharpoons 2Y(g) + Z(g)$, 将 4 mol X 通入 2 L 容积恒定的密闭容器中, 若维持容器内温度不变, 5 s 末测得 X 的物质的量为 1.8 mol。用 Z 的浓度变化来表示该反应的速率(单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) 为 ()

A. 0.09 B. 0.11 C. 0.18 D. 0.22

5. 在密闭容器中 A(g) 和 B(g) 反应生成 C(g), 其反应速率分别用 $v(A)$ 、 $v(B)$ 、 $v(C)$ 表示, 已知 $v(A)$ 、 $v(B)$ 、 $v(C)$ 之间有以下关系: $2v(B) = 3v(A)$, $v(A) = 2v(C)$ 。则该反应的化学方程式可表示为 ()

A. $2A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons C(g)$
B. $3A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$
C. $3A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 6C(g)$
D. $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$

6. 在恒温恒容条件下, 发生反应 $2A(g) + xB(g) \rightleftharpoons 2C(g)$, 反应体系中某物质的浓度 c 随时间的变化如图中曲线甲、乙所示, 已知 x 为整数。下列说法正确的是 ()



A. $x = 3$
B. 曲线乙表示的是物质 A 在反应过程中的浓度变化
C. 10~30 min 内 $v(C) = 0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
D. c 点对应物质的浓度与 d 点对应物质的浓度相等

◆ 学习任务二 比较化学反应速率大小的方法

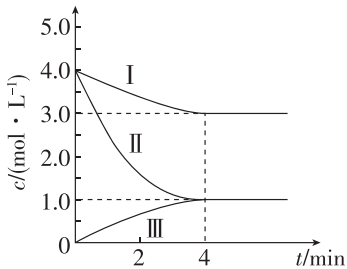
7. 已知在不同情况下测得反应 $P(g) + 3Q(g) \rightleftharpoons 2R(g) + 2S(g)$ 的反应速率如下, 其中反应速率最快的是 ()

A. $v(P) = 0.15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
B. $v(Q) = 0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
C. $v(R) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
D. $v(S) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

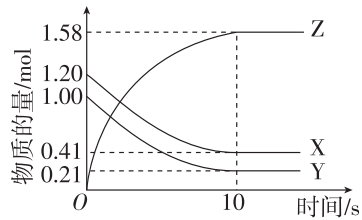
8. [2024·福建泉州高二期中] 已知在一定条件下 CO_2 可转化为高附加值的燃料 CH_4 , 反应原理为 $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。实验测得在四种不同条件下的反应速率分别为① $v(\text{CO}_2) = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、② $v(\text{H}_2) = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、③ $v(\text{CH}_4) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、④ $v(\text{H}_2\text{O}) = 0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 则四种条件下的速率大小关系为 ()
- A. ②>①>④>③ B. ④>③>②>①
C. ③>④>②>① D. ④=③>②>①

综合应用练

9. 反应 $4\text{A}(\text{s}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g}) + \text{D}(\text{g})$, 经 2 min, B 的浓度减少 $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。对此反应速率的表示正确的是 ()
- A. 用 A 表示的反应速率是 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
B. 分别用 B、C、D 表示的反应速率的比值是 3:2:1
C. 此 2 min 内的反应速率, 用 B 表示是 $0.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
D. 在这 2 min 内用 B 和 C 表示的反应速率的值是相等的
10. [2025·辽宁名校联盟高二联考] 在容积恒为 0.5 L 的密闭容器中, 充入物质的量均为 $n \text{ mol}$ 的 A(g) 和 B(g), 在一定条件下发生反应 $\text{A}(\text{g}) + 3\text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}(\text{g}) + \text{D}(\text{g})$, 测得 A(g)、B(g) 和 C(g) 的浓度(c)随时间(t)的变化曲线如图所示。



- 下列说法正确的是 ()
- A. 曲线 I 表示 B 的浓度随时间的变化曲线
B. $n = 8.0$
C. 0~4 min 内, 用 D 表示的化学反应速率为 $0.25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
D. A 和 B 的平衡转化率相等
11. 一定温度下, 在 2 L 的恒容密闭容器中, X、Y、Z 三种气体的物质的量随时间变化的曲线如图所示。下列描述正确的是 ()
- A. 反应在 0~10 s 内, 用 Z 表示的反应速率为 $0.158 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
B. 反应在 0~10 s 内, X 的物质的量浓度减少了 $0.79 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$



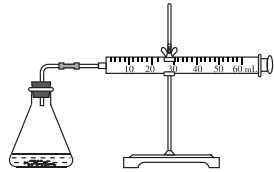
- C. 反应进行到 10 s 时, Y 的转化率为 79.0%
D. 反应的化学方程式为 $\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Z}(\text{g})$

12. [2024·北京北大附中高二月考] 一定温度下, 10 mL $0.40 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{O}_2$ 溶液发生催化分解。不同时刻测得生成 O_2 的体积(已折算为标准状况)如下表, 下列叙述不正确的是(溶液体积变化忽略不计) ()

t/min	0	2	4	6	8	10
$V(\text{O}_2)/\text{mL}$	0.0	9.9	17.2	22.4	26.5	29.9

- A. 0~6 min 的平均反应速率: $v(\text{H}_2\text{O}_2) \approx 3.3 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
B. 0~4 min 的平均反应速率较 4~8 min 的平均反应速率快
C. 反应至 6 min 时, $c(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
D. 反应至 6 min 时, H_2O_2 分解了 50%

13. (9 分) 盐酸与碳酸钙反应生成 CO_2 , 运用如图所示装置可测定该反应的反应速率。请根据要求填空:



- (1)(2 分) 连接好仪器后, 需要检查 _____, 再加入药品进行实验。
(2)(3 分) 在锥形瓶中加入 5 g 碳酸钙, 加入 20 mL $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸。每隔 10 s 观测注射器中气体的体积, 并以 $\text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$ 为反应速率的单位, 计算每 10 s 内的反应速率。数据处理的结果见下表:

时间/s	10	20	30	40	50	60
气体体积/mL	4	14	25	38	47	55
反应速率/ ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.4	1.0	1.1	?	0.9	0.8

表格中的“?”处应填的数据是 _____。

- (3)(4 分) 从反应速率随时间变化的数据可知, 本实验中反应速率与 _____ 和 _____ 有关。

第2课时 影响化学反应速率的因素

(时间:40分钟 总分:40分)

(选择题每题3分,共24分)

基础对点练

◆学习任务一 影响化学反应速率的因素

1. [2025·广东广州越秀区高二开学考] 下列措施中,不能增大化学反应速率的是 ()
- A. 加热分解 KClO_3 时,添加少量 MnO_2
- B. CaCO_3 与盐酸反应时,适当升高温度
- C. 进行合成 NH_3 反应时,增大气体压强
- D. Zn 与稀硫酸反应时,加入几滴蒸馏水
2. 用一质量为 1.2 g 的铝片与 45 mL $4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的稀硫酸反应制取 H_2 ,若要增大反应速率,采取的措施:①再加入 20 mL $4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 硫酸;②改用 30 mL $6\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的稀硫酸;③改用 20 mL $18\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓硫酸;④改用 1.2 g 铝粉代替 1.2 g 铝片;⑤适当升高温度;⑥在敞口容器中反应。其中正确的是 ()
- A. ①②③④ B. ②④⑤
- C. ②③④⑤ D. ②③④⑤⑥
3. 对于放热反应: $\text{A}+\text{B}=\text{C}$,下列条件的改变一定能使化学反应速率加快的是 ()
- A. 增加 A 的物质的量 B. 升高体系温度
- C. 增大体系压强 D. 降低体系温度
4. [2024·天津南开高二期] 一定温度下,在一容积可变的密闭容器中进行反应 $\text{C}(\text{s})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})=\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})$ 。下列条件的改变(其他条件不变)可以加快反应速率的是 ()
- A. 增加 C 的物质的量
- B. 将容器的容积缩小一半
- C. 降低温度
- D. 保持容积不变,充入 Ne 使压强增大

◆学习任务二 变量控制法在化学反应速率中的应用

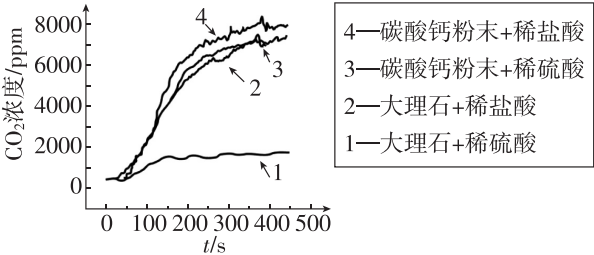
5. [2024·天津河西高二期] 某实验小组以 H_2O_2 分解为例,研究浓度、催化剂对该反应速率的影响。在常温下按如下表所示方案完成实验。

实验编号	反应物	催化剂
①	10 mL 2% H_2O_2 溶液	无
②		无
③	10 mL 4% H_2O_2 溶液	MnO_2 粉末

- 下列说法不正确的是 ()
- A. 实验①和②对比研究的是 H_2O_2 溶液的浓度对该反应速率的影响
- B. 实验②和③对比研究的是催化剂对该反应速率的影响
- C. 实验②的反应物应为 5 mL 2% H_2O_2 溶液
- D. 实验③的反应速率应比实验①的快
6. [2024·北京海淀区高二期中] 室温下,用 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液和蒸馏水进行如表所示的 5 个实验,分别测量浑浊度随时间的变化。

编号	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液	H_2SO_4 溶液	蒸馏水	浑浊度随时间变化的曲线
	V/mL	V/mL	V/mL	
①	1.5	3.5	10	
②	2.5	3.5	9	
③	3.5	3.5	x	
④	3.5	2.5	9	
⑤	3.5	1.5	10	

- 下列说法不正确的是 ()
- A. 实验③中 $x=8$
- B. 实验①②③或③④⑤均可说明其他条件相同时,增大反应物浓度可增大该反应速率
- C. 将装有实验②的试剂的试管浸泡在热水中一段时间后混合,其浑浊度曲线应为 a
- D. 降低 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 溶液浓度比降低 H_2SO_4 溶液浓度对该反应化学反应速率影响程度更大
7. [2024·北京东城区高二期末] 某小组采用等质量的大理石和碳酸钙粉末、足量的 $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 稀盐酸和 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 稀硫酸研究实验室制备 CO_2 的化学反应速率。实验中 CO_2 的浓度随时间的变化如图所示。
- 已知:碳酸钙和稀硫酸反应生成微溶的硫酸钙,硫酸钙会包裹在碳酸钙表面。

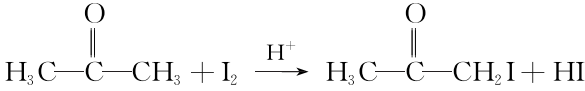


- 下列说法正确的是 ()

- A. 比较实验 1 和实验 2,可以说明酸的 $c(\text{H}^+)$ 对生成 CO_2 的速率有影响
- B. 比较实验 1 和实验 4,可以说明生成 CO_2 的速率和酸中阴离子的种类有关
- C. 实验结论:生成的 CaSO_4 对碳酸钙粉末比对大理石的包裹作用更强
- D. 综合以上四个实验推断大理石粉末和稀硫酸反应能用于制备 CO_2

综合应用练

8. [2025·山东名校联盟高二期中] 某化学兴趣小组设计实验探究丙酮碘化反应中,丙酮、 I_2 、 H^+ 浓度对化学反应速率的影响,实验数据如下表所示。已知:

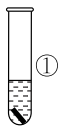


编号	丙酮溶液 ($4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)/mL	I_2 溶液 ($0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)/mL	盐酸 ($2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)/mL	蒸馏水/mL	溶液褪色时间/s
①	2	2	2	0	t_1
②	1	2	2	1	t_2
③	2	1	2	1	t_3
④	2	2	a	1	t_4

下列说法错误的是 ()

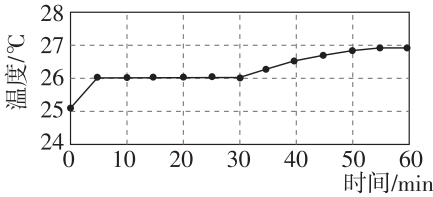
- A. 实验①中,以丙酮表示的反应速率为 $\frac{0.005}{t_1} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
- B. 实验④中, $a=1$
- C. 研究 I_2 浓度对反应速率的影响,应选择实验①和③
- D. 若 $t_1 < t_2$,则说明丙酮浓度越大,该反应的速率越快

9. (16 分)[2024·北京西城区育才学校高二月考] 某小组研究了铜片与 $5.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液反应的速率,实验现象记录如下表。

实验	时间段	现象
	0~15 min	铜片表面出现极少气泡
	15~25 min	铜片表面产生较多气泡,溶液呈很浅的蓝色
	25~30 min	铜片表面均匀冒出大量气泡
	30~50 min	铜片表面产生较少气泡,溶液蓝色明显变深,液面上方呈浅棕色

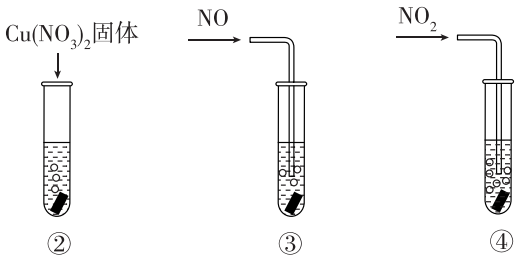
为探究影响该反应速率的主要因素,小组进行如下实验。

实验 I:监测上述反应过程中溶液温度的变化,所得曲线如图甲所示。



甲

实验 II:②~④试管中加入大小、形状相同的铜片和相同体积、 $5.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液,结果显示:
 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 、 NO 对 Cu 和 HNO_3 反应速率的影响均不明显, NO_2 能明显加快该反应的速率。



乙

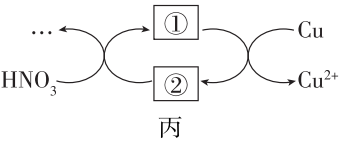
实验 III:在试管⑤中加入铜片和 $5.6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{HNO}_3$ 溶液,当产生气泡较快时,取少量反应液于试管中,检验后发现其中含有 NO_2^- 。

(1)(3 分)根据表格中的现象,描述该反应的速率随时间的变化情况:_____。

(2)(2 分)实验 I 的结论:温度升高_____ (填“是”或“不是”)反应速率加快的主要原因。

(3)(3 分)实验 II 的目的:_____。

(4)(4 分)小组同学查阅资料后推测:该反应由于生成某中间产物而加快了反应速率。请结合实验 II、III,补全图丙中的催化机理。①_____;②_____。(填相应的粒子符号)



丙

(5)(4 分)为验证(4)中猜想,还需补充一个实验:_____

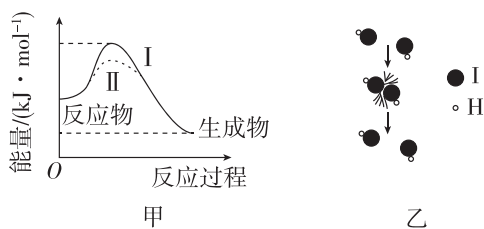
_____(请写出操作和现象)。

(选择题每题3分,共30分)

基础对点练

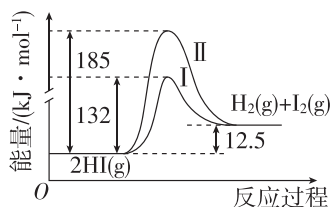
◆ 学习任务一 活化能与简单碰撞理论

1. 我们把能够发生化学反应的碰撞叫作有效碰撞;发生有效碰撞的分子必须具有足够的能量,这种分子叫作活化分子;活化分子具有的平均能量与反应物分子具有的平均能量之差,叫作反应的活化能。下列说法不正确的是 ()



- A. 图甲中曲线Ⅱ可以表示催化剂降低了反应的活化能
B. 图乙中 HI 分子发生了有效碰撞
C. 活化能接近于零的反应,当反应物相互接触时,反应瞬间完成,而且温度对其反应速率几乎没有影响
D. 图甲中所示反应为放热反应

2. [2025·福建厦泉五校高二期中] HI(g)分解的能量变化曲线如图所示。下列有关判断不正确的是 ()



- A. 该反应为吸热反应
B. 过程Ⅰ使用了催化剂,加快了反应速率
C. 过程Ⅱ逆反应的活化能 $E_2 = 185 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
D. 催化剂通过参与反应,改变反应历程、改变反应的活化能来改变化学反应速率

3. 已知反应 $2\text{NO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ $\Delta H = -752 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的反应机理如下:

- ① $2\text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_2(\text{g})$ (快)
② $\text{N}_2\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ (慢)
③ $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ (快)

下列有关说法错误的是 ()

- A. ②反应的活化能最大
B. ②中 N_2O_2 与 H_2 的碰撞仅部分有效
C. N_2O_2 和 N_2O 是该反应的催化剂
D. 总反应中逆反应的活化能比正反应的活化能大

4. 已知分解 $1 \text{ mol H}_2\text{O}_2$ 放出热量 98 kJ ,在含少量 I^- 的溶液中, H_2O_2 分解的机理为 $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{I}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{IO}^-$ (慢), $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{IO}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 + \text{I}^-$ (快)。下列有关该反应的说法不正确的是 ()

- A. 总反应中 $v(\text{H}_2\text{O}_2) : v(\text{O}_2) = 2 : 1$
B. H_2O_2 的分解速率与 I^- 的浓度有关
C. 该反应的催化剂是 I^- ,而不是 IO^-
D. 由于催化剂的加入降低了反应的活化能,使该反应活化能低于 $98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

◆ 学习任务二 外因对速率影响的理论解释

5. [2025·广东三校高二联考] 下列有关说法正确的是 ()

- A. 恒温恒压下,向 $2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 平衡体系充入 N_2 ,正、逆反应速率都不变
B. 通过光辐射、超声波、高速研磨等,也有可能改变反应速率
C. 升高温度和增大浓度都可以提高反应体系内活化分子百分数
D. 加入催化剂,不能改变活化分子百分数

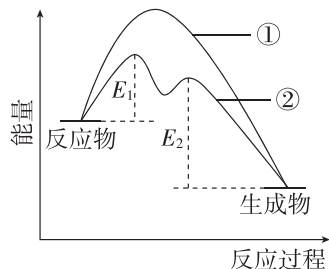
6. [2024·北京丰台区高二期中] 在反应 $2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ 中,有关反应条件改变使反应速率增大的原因分析中,不正确的是 ()

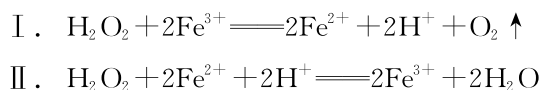
- A. 加入适宜的催化剂,可降低反应的活化能
B. 增大 $c(\text{HI})$,单位体积内活化分子数增大
C. 升高温度,单位时间内有效碰撞次数增加
D. 增大压强,活化分子的百分数增大

7. 工业制氢原理: $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \xrightarrow{\text{高温}} \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$ 。改变下列条件能提高产生氢气的速率且提高活化分子百分数的是 ()

- A. 将炭块改为炭粉
B. 加入高效催化剂
C. 降低反应温度
D. 增大水蒸气浓度

8. [2025·浙江强基联盟高二期中] 向 A、B 两试管中加入等量 H_2O_2 溶液,然后再向 B 中滴入几滴 FeCl_3 溶液,其反应过程如图所示。





下列说法不正确的是 ()

- A. 曲线②是滴加了 FeCl_3 溶液的反应过程, Fe^{3+} 改变了 H_2O_2 分解反应的历程
 B. Fe^{3+} 是催化剂; Fe^{2+} 是中间产物
 C. E_1 、 E_2 分别是反应 I、II 的正反应活化能, 反应 I 的速率大于反应 II 的速率
 D. 催化剂能降低反应的活化能, 提高反应物分子中活化分子百分数

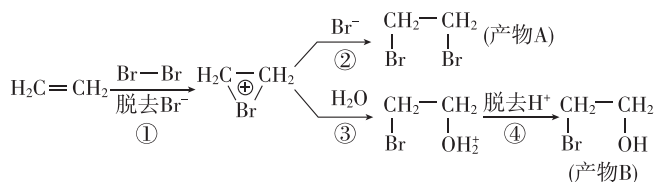
综合应用练

9. [2025·湖南部分学校高二联考] 某化学兴趣小组以镁与盐酸的反应为研究对象, 设计了四组实验探究反应物浓度、反应温度和催化剂三个因素对化学反应速率的影响, 数据如表, 下列说法错误的是 ()

实验编号	Mg 的质量/g	HCl 溶液 (过量) 浓度/ ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	温度/ $^{\circ}\text{C}$	催化剂	产生等体积 H_2 所需时间/s
①	1.0	1.0	20	无	120
②	1.0	c_1	30	无	80
③	1.0	1.0	30	有	70
④	1.0	2.0	20	无	90

- A. $c_1 = 1.0$
 B. 实验①和④可探究反应物浓度对化学反应速率的影响
 C. 对比实验①和②, 升高反应温度, 活化分子总数增大, 化学反应速率加快
 D. 实验①和③可探究催化剂对化学反应速率的影响

10. [2025·浙江 9+1 联盟高二期中] 乙烯在溴水中发生加成反应的机理如图所示:



实验显示, 在饱和溴水中反应时, 产物 A 和 B 的比例

约为 1:9。下列说法不正确的是 ()

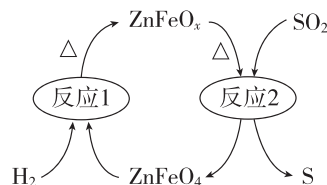
- A. 若在 Br_2 的 CCl_4 溶液中反应, 产物仅有 A
 B. 该反应不可逆, 产物的比例主要由第②和第③步反应的速率大小决定
 C. 降低溴的浓度, 产物中 B 的比例可能升高
 D. 该实验说明第②步反应的活化能比第③步大

11. (10 分)[2024·福建莆田三中高二月考] 回答下列问题:

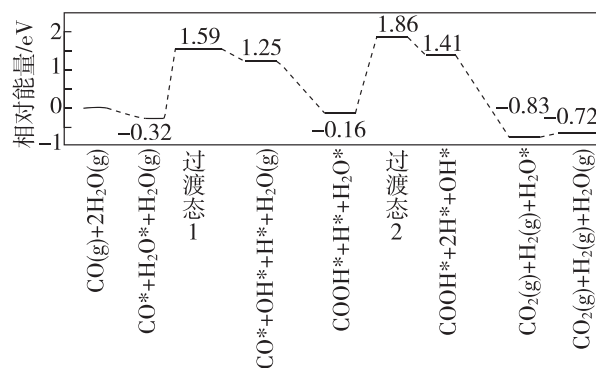
(1)(2 分) 对于在一个密闭容器中进行的反应 $\text{C}(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$, 下列条件的改变对反应速率几乎没有影响的是_____。

- ①增加 C 的量
 ②增加 CO 的量
 ③将容器的容积缩小一半
 ④保持容积不变, 充入 He 以增大压强
 ⑤升高反应体系的温度
 ⑥保持压强不变, 充入 He 以增大容积

(2)(2 分) 新型纳米材料氧缺位高铁酸盐(ZnFeO_x) 能将烟气中的 SO_2 除去, 原理如图所示。该过程中转化的 SO_2 和消耗的 H_2 体积比为_____。



(3)(6 分) 我国学者结合实验与计算机模拟结果, 研究了在金催化剂表面上水煤气变换的反应历程, 如图所示, 其中吸附在金催化剂表面上的物种用“*”标注。



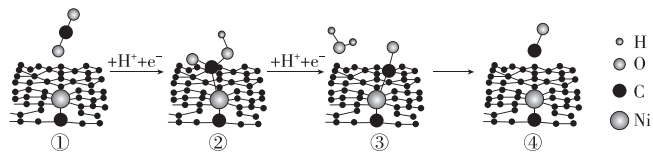
可知水煤气变换的 ΔH _____ 0 (填“大于”“等于”或“小于”)。该历程中最大能垒(活化能) $E_{\text{正}} =$ _____ eV, 写出该步骤的化学方程式: _____。

整合突破 1 有关反应历程与能量变化的图像分析

(时间:40 分钟 总分:30 分)

(选择题每题 3 分,共 30 分)

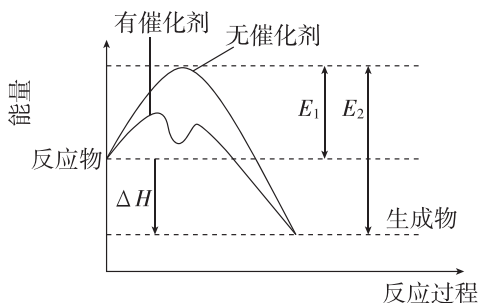
1. [2024·北京丰台区高二期中] Ni 单原子催化剂具有良好的电催化性能,催化转化 CO_2 的历程示意图如图所示。



下列说法不正确的是 ()

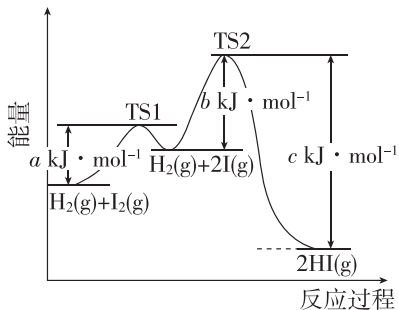
- A. 该转化过程中 CO_2 被还原
- B. ②→③中断裂的与形成的化学键都是极性共价键
- C. 生成 1 mol CO,需要转移 2 mol e^-
- D. Ni 原子在催化转化 CO_2 的过程中降低了该反应的焓变

2. [2025·重庆重点中学高二联考] $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ 反应过程中能量变化如图所示(图中 E_1 、 E_2 分别表示无催化剂时正、逆反应的活化能),下列有关叙述正确的是 ()



- A. $E_1 - E_2 = \Delta H$
- B. 该反应为吸热反应
- C. 升高温度,不影响活化分子的百分数
- D. 使用催化剂使该反应的反应热发生改变

3. [2025·湖南师大附中高二月考] 一定条件下,容器内发生反应 $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$,其能量变化如图所示。



下列说法错误的是 ()

A. 该反应的决速步骤为 $\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{I}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$

B. 该反应的焓变 $\Delta H = (a + b - c) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

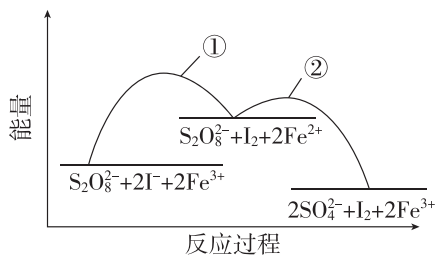
C. 反应物的键能之和小于生成物的键能之和

D. 若加入催化剂,可以增大活化分子百分数

4. [2024·北京丰台区高二期末] 已知反应 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + \text{I}_2(\text{aq})$,若向该溶液中加入含 Fe^{3+} 的某溶液,反应机理如图所示。下列有关该反应的说法不正确的是 ()

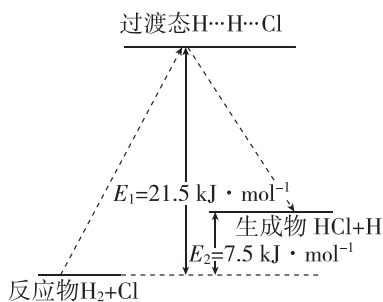
① $2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 2\text{I}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{I}_2(\text{aq}) + 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$

② $2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{S}_2\text{O}_8^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 2\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$



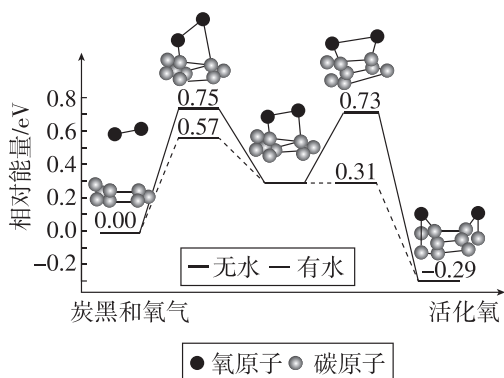
- A. 反应①比反应②所需活化能大
- B. 该反应可设计成原电池
- C. 向该溶液中滴加淀粉溶液,溶液变蓝
- D. 若不加 Fe^{3+} ,正反应的活化能比逆反应的活化能大

5. [2024·广东广州天河区高二期末] 基元反应 $\text{H}_2 + \text{Cl} \rightleftharpoons \text{HCl} + \text{H}$ 的能量变化如图所示。下列说法不正确的是 ()



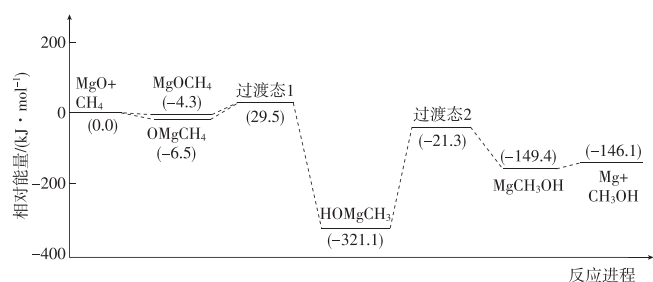
- A. 该基元反应 $\Delta H = +7.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- B. 过渡态 $\text{H} \cdots \text{H} \cdots \text{Cl}$ 能量高,不稳定
- C. 加入催化剂,则 E_1 小于 $21.5 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- D. 该基元反应为放热反应

6. [2025·辽宁名校联盟高二联考] 炭黑是雾霾中的重要颗粒物,研究发现它可以活化氧分子,生成活化氧。活化过程的能量变化模拟计算结果如图所示。活化氧可以快速氧化 SO_2 。下列说法正确的是 ()



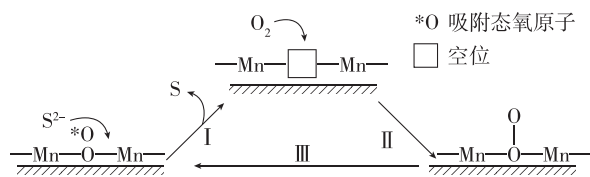
- A. 每活化一个氧分子吸收 0.29 eV 能量
 B. 水可使氧分子活化反应的活化能降低 0.42 eV
 C. 氧分子的活化是 C—O 的断裂与 O—O 的形成过程
 D. 炭黑颗粒是大气中 SO₂ 转化为 SO₃ 的催化剂

7. [2025·重庆重点中学高二联考] 研究表明:MgO 基催化剂广泛应用于 CH₄ 的转化过程,如图所示是我国科研工作者研究 MgO 与 CH₄ 作用最终生成 Mg 与 CH₃OH 的物质相对能量-反应进程曲线。下列说法不正确的是 ()



- A. 反应中甲烷被氧化
 B. 中间体 OMgCH₄ 比 MgOCH₄ 更稳定
 C. 该反应的速率控制步骤对应的活化能是 29.5 kJ · mol⁻¹
 D. MgOCH₄ 转化为 MgCH₃OH 的焓变为 -145.1 kJ · mol⁻¹

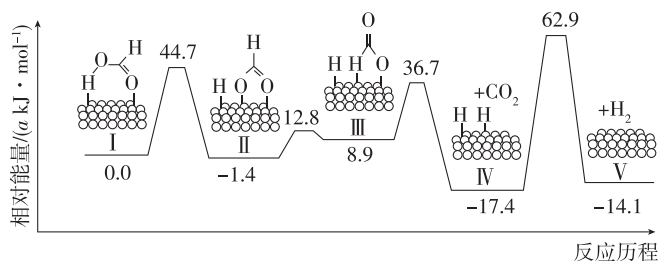
8. 炼油、石化等含 S²⁻ 工业废水可通过催化氧化法进行处理。将 MnO₂ 嵌于聚苯胺(高温会分解)表面制成催化剂,碱性条件下,催化氧化废水的机理如图所示。下列说法正确的是 ()



- A. 催化剂因 S 覆盖表面或进入空位而失效,高温灼烧后可继续使用
 B. 反应 I 为 $2H^+ + S^{2-} + *O \rightleftharpoons H_2O + S$

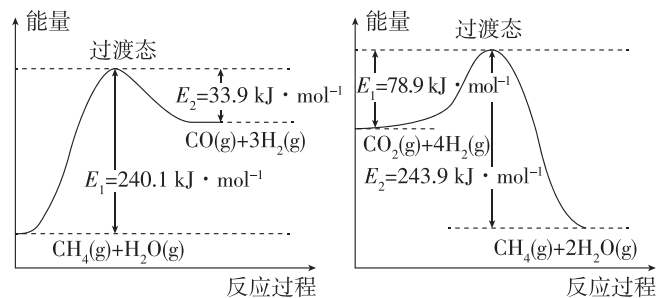
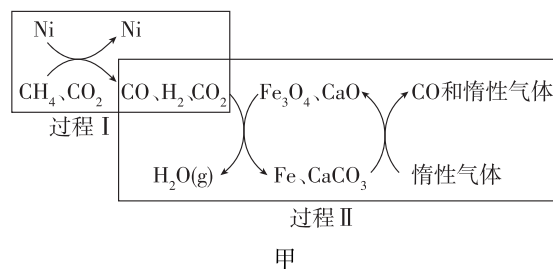
- C. 反应过程 I 中化合价发生变化的元素仅有 S 和 O
 D. 反应 III 的 $\Delta H > 0$

9. 1 mol HCOOH 在 Pd 催化剂表面脱氢的反应历程与能量的关系如图所示,下列说法正确的是 ()



- A. 反应历程用 DCOOH 代替 HCOOH,得到的产物可能有 HD 和 CO₂
 B. Pd 催化剂可以加快反应速率,降低反应的活化能,但不参与反应
 C. 历程中决速步骤的活化能为 80.3 kJ · mol⁻¹
 D. 以上反应历程涉及极性键和非极性键的断裂与形成

10. CH₄ 超干重整 CO₂ 的催化转化如图甲所示,相关反应的能量变化如图乙所示。



- 下列说法不正确的是 ()
 A. 过程 I 的热化学方程式为 $CH_4(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + 2H_2(g)$ $\Delta H = +247.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
 B. 过程 II 实现了含碳物质与含氢物质的分离
 C. 过程 II 中 Fe₃O₄、CaO 为催化剂,降低了反应的 ΔH
 D. CH₄ 超干重整 CO₂ 的总反应为 $CH_4 + 3CO_2 \rightleftharpoons 4CO + 2H_2O$