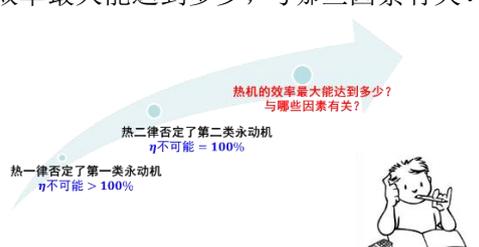
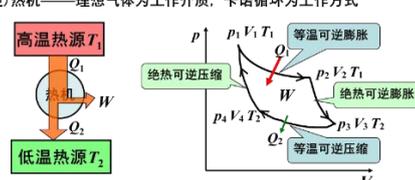


关于“熵的概念”的教学设计

制作人：李鹤

课程说明			
课程名称	物理化学	授课对象	食安 2020 级
课程类别	学科基础必修课	课程总学时	48 h
使用教材	《物理化学》（第二版），杨亚提主编 中国农业出版社，2018		
本节内容	第二章 热力学第二定律 第三节 熵的概念		
教学分析			
教学背景	1. 教学内容分析 物理化学是化学学科的一个重要分支，它是从研究化学现象和物理现象之间的相互联系入手，探求化学变化基本规律的一门学科。化学热力学是物理化学的重要组成部分之一。热力学第二定律是化学热力学的核心，它解决了变化的方向和限度问题。而熵的引入、热力学第二定律的数学表达式——克劳修斯不等式是从对卡诺定理的深入分析建立的。这部分的理论对于学生科学思维、思辨能力有较高的要求，相关的历史发展可以让学生对于科学发展的螺旋式上升产生直观认识，培养学生严谨求实的科学素养。		
	2. 学情分析 高等数学、大学物理、无机及分析化学是物理化学的先修课程，其微积分、热力学、反应动力学以及化学平衡等相关知识为本课程的学习奠定了一定的基础。然而由于学生前期基础掌握不牢固，缺乏系统深入的分析理解，对熵的引入和热力学第二定律的数学表达式——克劳修斯不等式学生的理解掌握有一定的困难。在介绍这部分内容时，应在“变化的方向和限度”问题导向下，逐步解析讨论，以加深学生对熵的概念的理解，提高学生理解问题、分析问题、解决问题的能力，培养他们的科研意识。		
教学目标	1. 知识目标 （1）识记：熵的概念。 （2）理解：卡诺热机的工作方式、卡诺定理；克劳修斯不等式。 （3）应用：学生能够利用熵判据判断过程的自发性。 2. 能力目标 （1）独立思考能力：能够利用熵判据判断过程的方向。 （2）科学思维能力：学生能够建立基本的科学思维，提高认识问题、分析问题、解决问题的能力。 3. 情感目标		

	<p>科学观与科学素养：熵的引入、热力学第二定律相关的发展历史可以让学生对于科学发展的螺旋式上升产生直观认识，培养学生严谨求实的科学素养。</p>	
<p>教学重点与难点</p>	<p>1.教学重点 卡诺定理；熵的概念；克劳修斯不等式；熵判据。</p> <p>2. 教学难点 熵的概念；克劳修斯不等式；熵判据的应用。</p>	
<p>教学方法和手段</p>	<p>1.教学方法 采用“问题导入—启发思考—共同分析—构建知识”的教学模式，以问题为导向，通过共同探讨，启发思维，达到教学目标。</p> <p>2.教学手段 多媒体课件+板书；随堂小测。</p>	
<p>教学过程组织</p>		
<p>教学环节</p>	<p>教学内容</p>	<p>教学组织</p>
<p>课程导入 (1 min)</p>	<p>问题：热力学第二定律否定了第二类永动机的存在，明确指出效率为1的热机是不可能实现的。但是人们一直在思考热机的效率最大能达到多少，与哪些因素有关？</p> 	<p>设问：通过问题引导学生思考，带着这些问题学习本节内容。</p>
<p>内容提要 (1 min)</p>	<p>1.卡诺定理 2.可逆过程的热温商和熵变 3.克劳修斯不等式 4.熵增加原理</p>	<p>简要介绍本单元教学内容，强调教学目标。</p>
<p>课程展开 (12 min)</p>	<p>1. 卡诺定理</p> <p>卡诺(可逆)热机——理想气体为工作介质，卡诺循环为工作方式</p>  <p>问题 1： 每一步的功：W_1、W_2、W_3、W_4 以及 $W_{总}$？</p> <p>问题 2： 每一步的热：Q_1、Q_2？</p> <p>问题 3： V_1、V_2、V_3、V_4 的互相关系？</p>	<p>回顾：卡诺热机的工作方式。</p> <p>讨论：引导学生利用已有背景知识分析卡诺循环中每一步的热、功，探索卡诺热机效率的影响因素。</p>

1.1 卡诺热机的效率：

$$\eta_R = -\frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

对实际热机的指导：

$$\eta_R = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$\eta_R \rightarrow 100\%$ 需 $T_2 \rightarrow 0\text{K}$ (-273.15°C)

T_2 : 大气, $\sim 300\text{K}$

早期的蒸汽机：高温热源 T_1 为 373K 的水蒸气

$$\eta_R = \frac{373 - 300}{373} = 19.6\% \quad (\text{当时 } \eta < 5\%)$$

现在的内燃机：高温热源 T_1 为 2000K 的汽油、柴油、煤油燃气

$$\eta_R = \frac{2000 - 300}{2000} = 85\% \quad (\text{现在 } \eta \text{ 高达 } 46\%)$$

1.2 卡诺定理

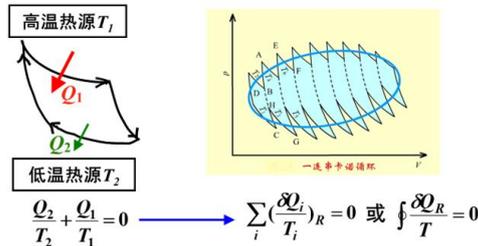
卡诺定理 $\eta \leq \eta_R$
 = 可逆热机
 < 不可逆(实际)热机

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \rightarrow 1 + \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$
 = 可逆(卡诺)循环
 < 不可逆循环



卡诺可逆循环 \rightarrow 任意可逆循环



2. 可逆过程的热温商和熵变

卡诺可逆循环

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0$$



德国物理学家普朗克 胡刚复教授

任意可逆循环

$$\Delta ? = \oint \frac{\delta Q_R}{T} = 0 \text{ 状态函数}$$

引入熵 S

$$dS = \frac{\delta Q_R}{T}$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q_R}{T}$$

※ 系统的熵变可用可逆过程的热温商来衡量。

结论： 卡诺热机的效率只与两个热源的溫度有关。两个热源的溫度差越大，热机效率越高。

讨论： 对实际热机的指导。

讲述： 卡诺定理。

讨论： 将卡诺定理的结论推广到任意可逆循环过程。

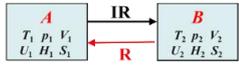
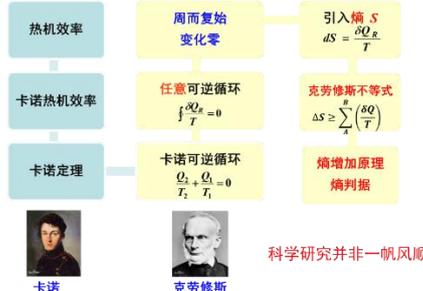
课程展开
(7 min)

讨论： 引导学生讨论任意可逆循环过程的热温商的特点。

结论： 系统由 A 变到 B 可逆，沿不同途径的热温商积分值相等，与途径无关，具有状态函数的特点。

强调： 引入熵的定义式，突出强调可逆过程的热温商与熵变的关系。

承上启下： 不可逆过程的热温商与熵变是什么关系？

<p>课程展开 (8 min)</p>	<p>3.克劳修斯不等式</p>  <p>假设：$\sum_A^B \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{IR} + \int_B^A \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_R < 0$</p> <p>$\int_B^A \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_R = S_A - S_B$</p> <p>$\Delta S > \sum_A^B \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{IR}$</p> <p>克劳修斯不等式（热二律数学表达式）</p> $\Delta S \geq \sum_A^B \left(\frac{\delta Q}{T}\right) = R > IR$ <p>用途：判断过程可逆与否</p>	<p>讨论：假设不可逆循环过程 $A \rightarrow B \rightarrow A$（其中 $A \rightarrow B$ 为不可逆过程，$B \rightarrow A$ 为可逆过程），讨论不可逆过程的热温商与熵变的关系，得到克劳修斯不等式即热力学第二定律的数学表达式。</p>
<p>课程展开 (7 min)</p>	<p>4. 熵增加原理</p> $\Delta S \geq \sum_A^B \left(\frac{\delta Q}{T}\right) = R > IR$ <p>绝热过程 熵增加原理 $\Delta S \geq 0$ = 绝热可逆 > 绝热不可逆</p> <p>孤立体系（无热功交换） 熵判据 $\Delta S_{孤立} \geq 0$ = 可逆—平衡（限度） > 自发—方向</p>	<p>讨论：将克劳修斯不等式应用于绝热系统的变化可以得到熵增加原理。用于孤立系统可以得到熵判据。</p> <p>测试：利用上课随堂快速评价学生对于熵增加原理的掌握程度。</p>
<p>小结 (4 min)</p>	<p>串联总结：</p>  <p>科学研究并非一帆风顺</p>	<p>小结：沿着课程脉络，快问快答，快速理清框架，总结本节内容。</p> <p>感悟：1824年卡诺提出卡诺定理，大约30年后，克劳修斯从中受到启发，提出了克劳修斯不等式，可见科学研究并非一帆风顺——科学发展的螺旋式上升。</p> <p>承上启下：通过设疑引入后续内容——熵变的计算。</p>
<p>教学反思</p>		
<p>物理化学课程中的热力学部分，理论性和逻辑性强，学生学习起来困难较大，而熵的概念是物理化学中热力学的重点内容、难点内容，因此教学过程的组织实施质量对学生的学习效果影响很大。在本节的设计中，沿着科学史发展的历史脉络，通过设问引起学生的兴趣，引导学生应用已有知识探索卡诺循环的效率，过程中注意引导学生巩固不同过程热、功的计算方法。引导学生分析卡诺定理中的热温商的关系，并将此结论推广到一般的任意可逆循环。通过状态函数的特点引入熵的概念。克劳修斯不等式的推导是难点，公式的推导要表述清楚，环环相扣。最后引导学生利用思维导图串联所学知识脉络，阐明历史发展脉络，让学生对于科学发展的螺旋式上升产生直观认识，培养学生严谨求实的科学素养，并加深学生对知识的理解、运用，完成整个闭环教学。</p>		