

物理学院



大学物理·热力学基础

主讲教师：李华

第8章 热力学基础 章结构

(1) 热运动与其它运动形式之间的能量转换

8.1 热力学第一定律与典型热力学过程

8.2 循环过程与卡诺循环

(2) 热力学第二定律与不可逆过程

8.3 热力学第二定律

8.4 热力学第二定律的数学表述——熵、熵增加原理

8.5 热力学第二定律的统计意义





8.3 热力学第二定律

本节的研究内容

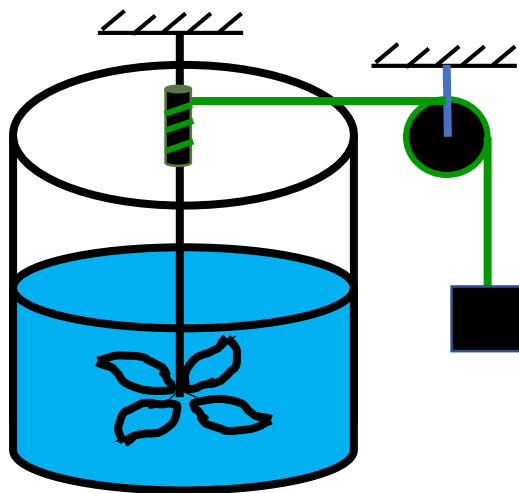
- 8.3.1 热力学自发过程的方向性
- 8.3.2 热力学第二定律
- 8.3.3 热力学第二定律的实质
- 8.3.4 卡诺定理

8.3.1 热力学自发过程的方向性

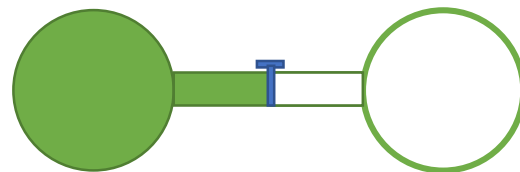
热力学第一定律表明，一切热力学过程都必须遵守能量守恒，那么满足能量守恒的过程是否都能实现呢？



冰块温度升高，水温降低！
反之，冰块温度降低，水温
升高！会出现吗？



搅拌水中叶轮可以使水温升高，
反之，水温降低从而使水中叶
轮转动起来，会发生吗？



扩散到右侧的气体会自动
回到左侧吗？

8.3.2 热力学第二定律

一切与热现象有关的实际宏观过程都是按一定的方向进行的。说明自然宏观过程进行的方向的规律称为热力学第二定律

- (1) 从宏观、工程的角度，讨论热力学第二定律的经典表述
- (2) 通过引入熵函数，把对过程方向的判断提高到定量的水平
- (3) 从微观几率的角度，深入热力学第二定律的统计实质

(1) 开尔文表述

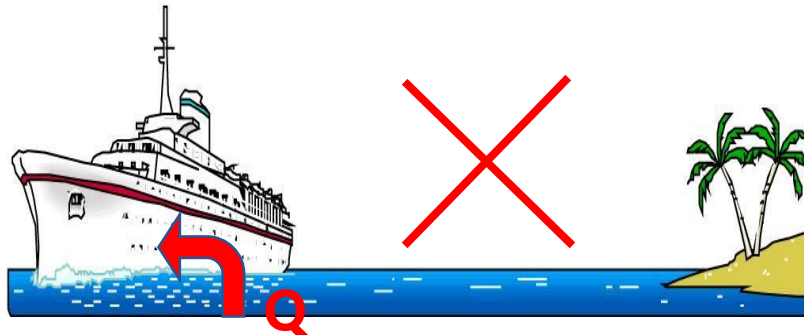
热机的效率：
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$



开尔文表述：不可能从单一热源吸收热量，使它完全转变为功而不引起其它变化

开尔文表述：不可能从单一热源吸收热量，使它完全转变为功而不引起其它变化

或：第二类永动机不可能造成

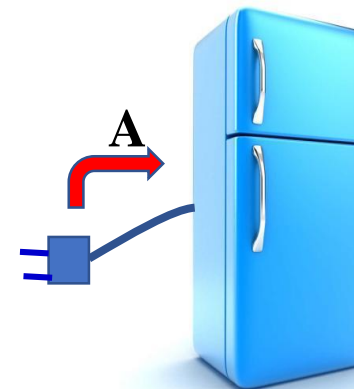


➤ **说明：**

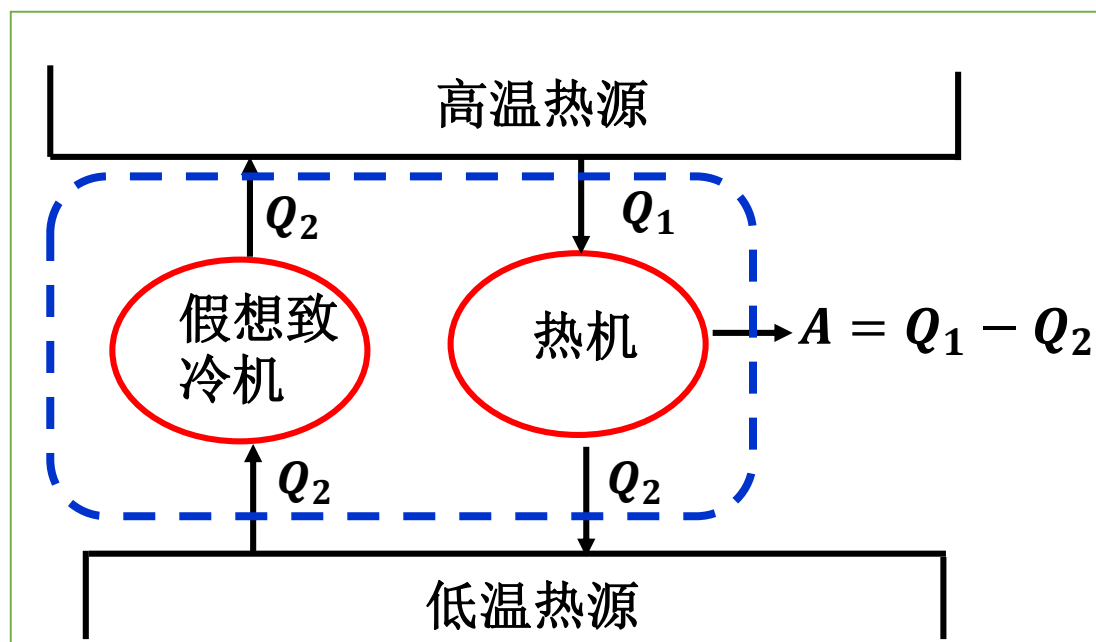
- “单一热源”——指温度均匀且恒定不变的热源
- “其他变化”——除了“从单一热源吸收热量，使它完全转变为功”以外的任何其他（包括系统或外界）变化。如果有其他变化产生，则把由单一热源所吸收的热量全部转化为功是可能的
- 既然热机必须放热，那么至少要有两个热源
- 热是不能完全转变为功，而不引起其他变化的，热功转换是具有方向性的

(2) 克劳修斯表述

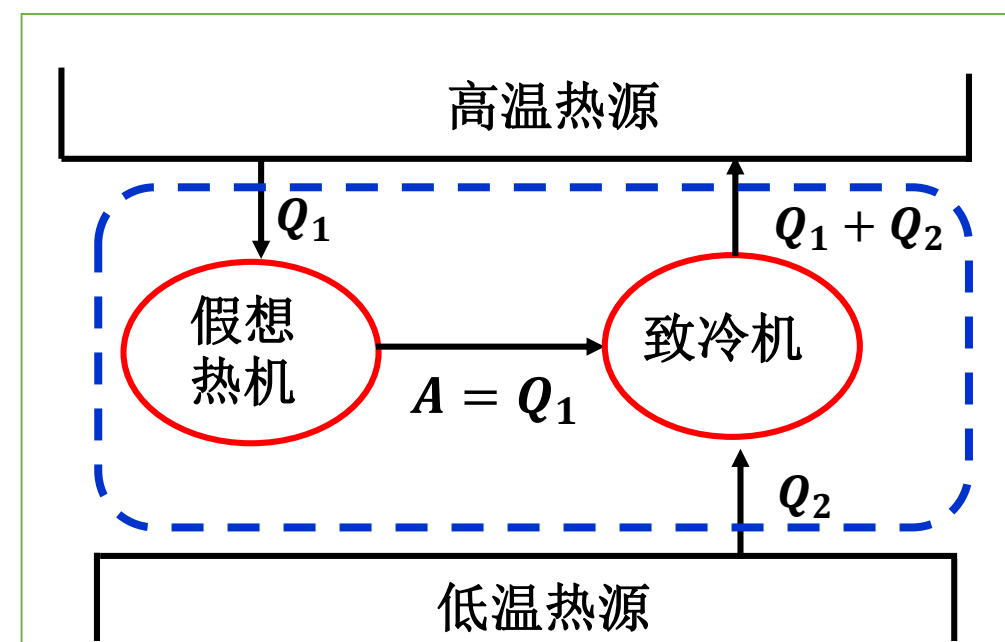
不可能把热量从低温物体传向高温物体，而不引起其它变化
或：热量不能自动地从低温物体传向高温物体



(3) 两种表述的等价性



假设克劳修斯表述不成立，则开尔文表述也不成立



假设开尔文表述不成立，则克劳修斯表述也不成立



8.3.3 热力学第二定律的实质

- 功可以完全变为热，但热就不能完全变为功
- 热量能自动地从高温物体传向低温物体，但不能自动地从低温物体传向高温物体
- 墨汁在清水中自动扩散，直至均匀
- 气体的自由膨胀是有方向性的...

结论：自然界中，一切自发进行的过程都是有方向性的

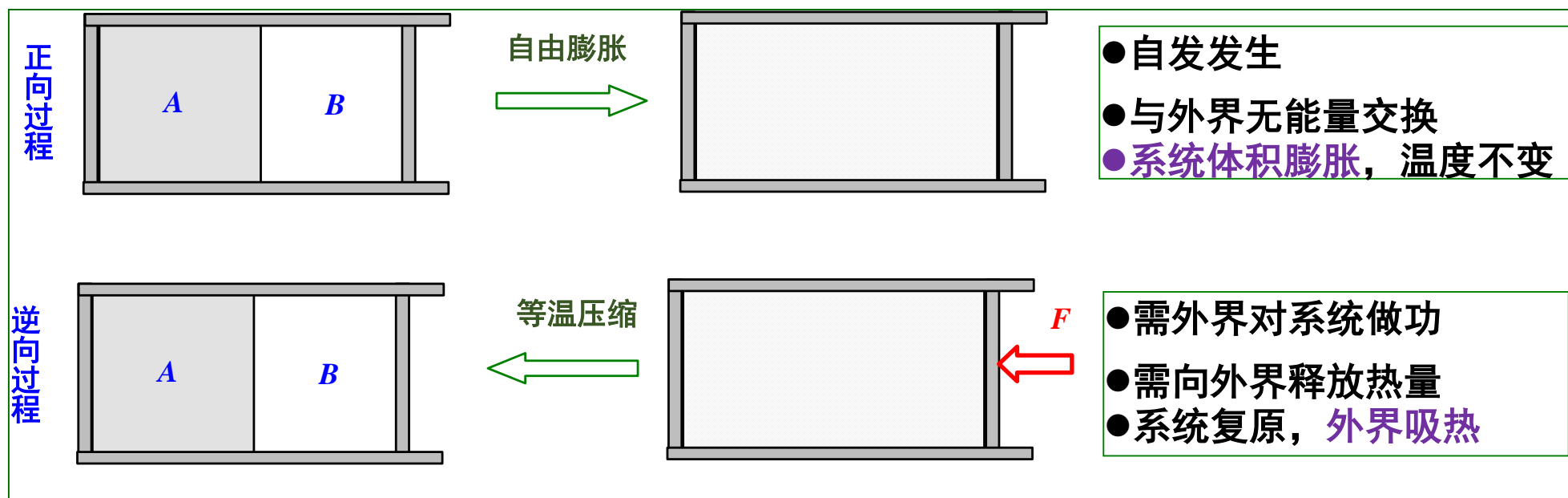
(1) 可逆过程与不可逆过程

任何一个过程P进行时，系统都要从一个初态经过许多中间状态变到一个终态。
在过程P进行之后，如果存在另一个过程，可沿原过程逆向进行使得系统和外界都恢复到原来的状态，而不留下任何影响，则原来过程P称为可逆过程

如果不能找到某种方法使系统和外界完全复原，则这一过程P称为不可逆过程

(2) 热力学过程的不可逆现象案例分析

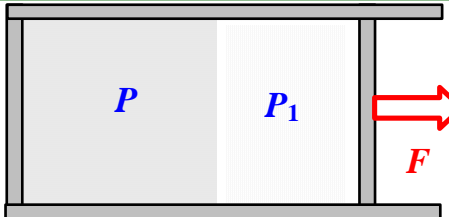
案例1：自由膨胀过程的不可逆特性



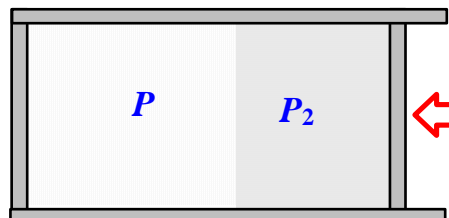
结论：自由膨胀逆过程发生的条件是外界状态被改变 (吸收系统热量)

案例2：快速做功过程的不可逆特性

正向过程



逆向过程



快速膨胀微过程

$$A_1 = p_1 \Delta V < p \Delta V$$

快速压缩微过程

$$A_2 = p_2 \Delta V > p \Delta V$$

逆过程发生条件

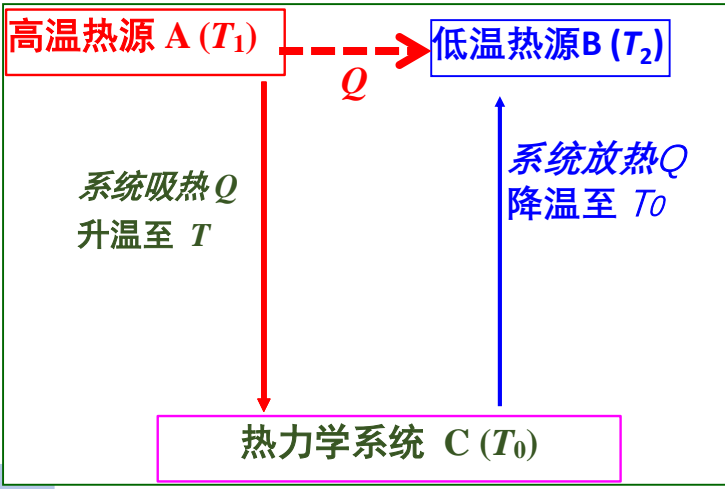
$$\text{外界对系统做功: } A = A_2 - A_1 > 0$$

案例3：大温差传热过程的不可逆特性

高温热源 A (T₁)

低温热源 B (T₂)

热力学系统 C (T₀)



系统与高温热源接触升温

系统：C与A接触，升温由T₀→T；外界A：释放热量Q

系统与低温热源接触降温

系统：C与B接触，降温由T→T₀；外界B：吸收热量Q

循环过程

系统：复原；外界：外界A向外界B释放热量Q

自然界各种不可逆过程都包含下列基本特点：

- 没有达到力学平衡（如：自由膨胀、快速做功过程）
- 没有达到热平衡（如：大温差传热）
- 没有消除摩擦力、黏滞力、电阻等产生耗散效应的因素

➤ 结论：

- 只有无摩擦的准静态过程才是可逆的。
- 可逆过程是实际过程的一种抽象，一个理想。实际宏观过程都是不可逆的
- 热力学第二定律的实质——自然界中一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆的
或 自然界中一切自发的宏观过程都是不可逆的

8.3.4 卡诺定理

- 相同高温、低温热源工作的一切**可逆**热机，其效率都相等，都等于 $\eta = 1 - T_2 / T_1$
- 相同高温、低温热源工作的一切**不可逆**热机，其效率都小于可逆热机 $\eta < 1 - T_2 / T_1$

(请同学们查阅文献，了解证明过程)

卡诺定理指出了**提高热机效率的途径**：

- 实际热机效率的理论极限值为卡诺可逆热机的效率值，因此尽量选择与卡诺循环相近的循环过程作为实际热机的循环
- 尽量提高高温热源的温度
- 尽量减小循环过程中的不可逆因素，如散热、漏气、摩擦等



谢谢大家!