

# 《大学物理》课程教师简介

教师：**汪加洁**  
Email: [wangjiajie@xidian.edu.cn](mailto:wangjiajie@xidian.edu.cn)



## 个人简介:

■物理学博士（光学方向），副教授（西安电子科技大学 物理与光电工程学院）

## 学术经历:

- 2016.03-2017.03 德国莱布尼茨材料科学研究所（Leibniz Institute of Material Science）访问学者
- 2008.09-2011.12 法国国立应用科学学院鲁昂分院（INSA De Rouen）物理学博士学位
- 2002.09-2006.07 西安电子科技大学 电子信息科学与技术 理学学士学位

## 主要研究方向:

■激光波束的调控及光场计算；数字全息及应用；微粒的光操纵及应用；复杂目标对调控电磁（激光）波束的散射特性研究；电磁波束在复杂随机介质中的传播与散射；

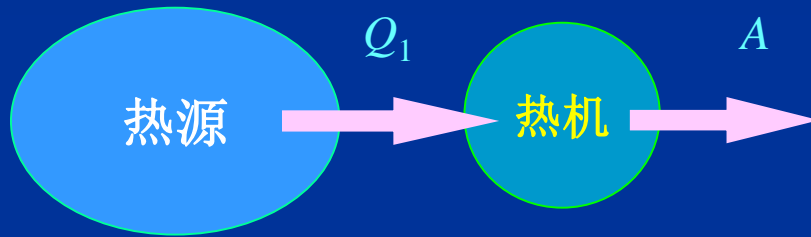
## 项目简介:

■主持并完成有国家自然科学基金项目，陕西省自然科学基金项目，留学回国人员科研启动基金项目，国家博士后科学基金项目，浙江大学重点实验室开放基金项目等，并作为主要完成人参与了法国驻华大使馆资助的中法合作项目，国家自然科学基金项目，973子课题，欧盟区域发展基金项目等。已发表学术论文40余篇，参与编写专著或教材2部。

## § 11-9 热力学第二定律

引言：热机的工作效率：

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \longrightarrow \quad \eta \text{ 不大于 } 100\%$$



热机的工作效率是否可以等于**100%**？

地球上的海水每冷却1摄氏度，所获得的功相当于 $10^{14}$ 吨煤燃烧后放出的热量。

单热源热机(第二类永动机)是否能够实现？

# 一、热力学第二定律

## 1. 第二定律的开尔文表述 (Kelvin Statement)

不可能只从单一热源吸收热量，使之完全转化为功而不引起其它变化。

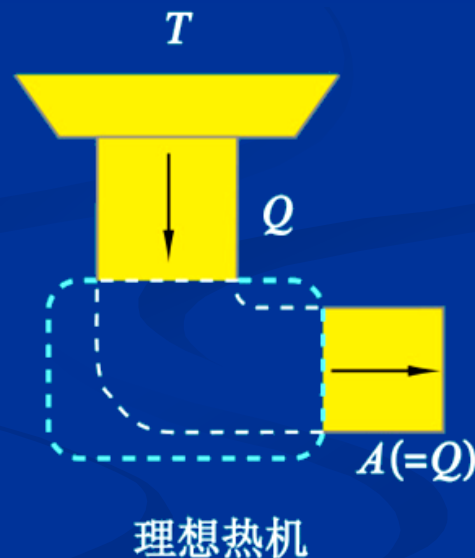


(1) 热力学第二定律开尔文表述的另一表述形式：**第二类永动机不可能制成。**

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

(2) “不引起其他变化”是指不引起**工质**和**外界**的变化。

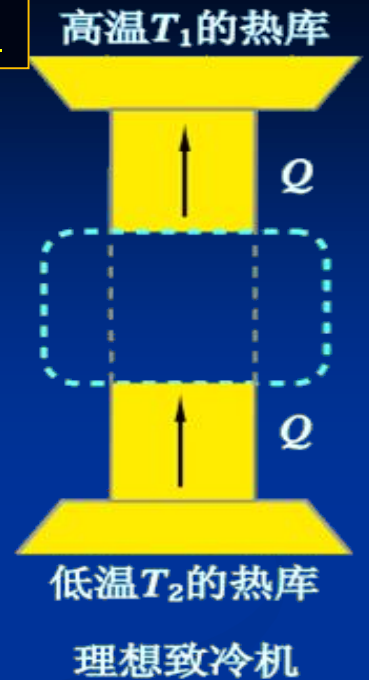
(3) 说明**热功转换过程具有方向性**。



## 2. 第二定律的克劳修斯表述(Clausius Statement)

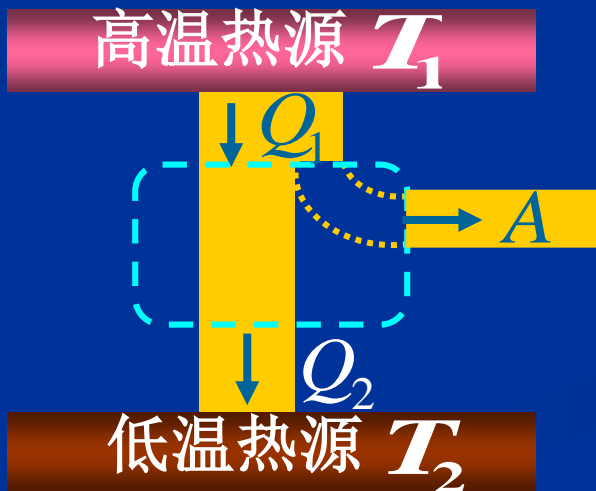
热量不能自动地从低温物体传向高温物体

- (1) 热二律克劳修斯表述的另一叙述形式：  
理想制冷机不可能制成
- (2) 热传导过程具有方向性

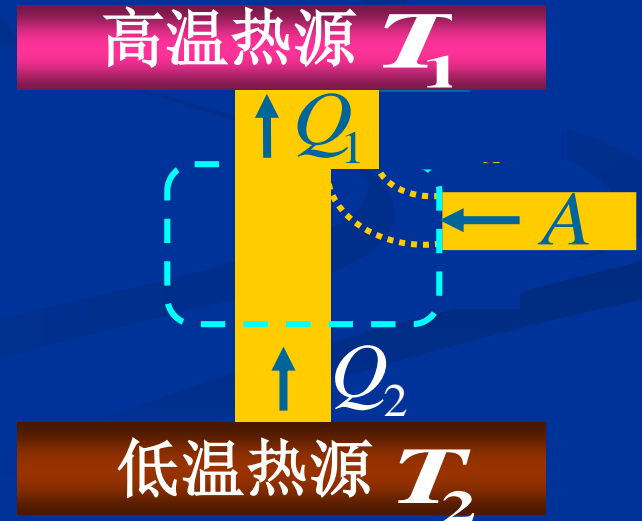


## 3. 热机、制冷机的能流图示方法

热机的能流图



致冷机的能流图

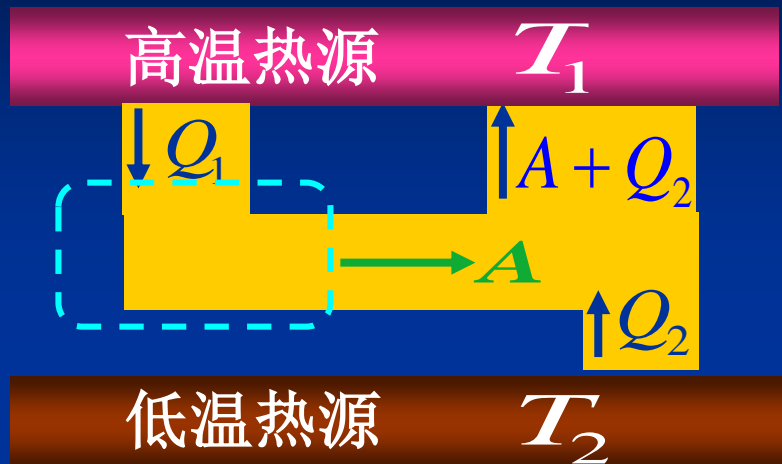


# 4. 热力学第二定律的两种表述等价

(1) 假设开尔文表述不成立



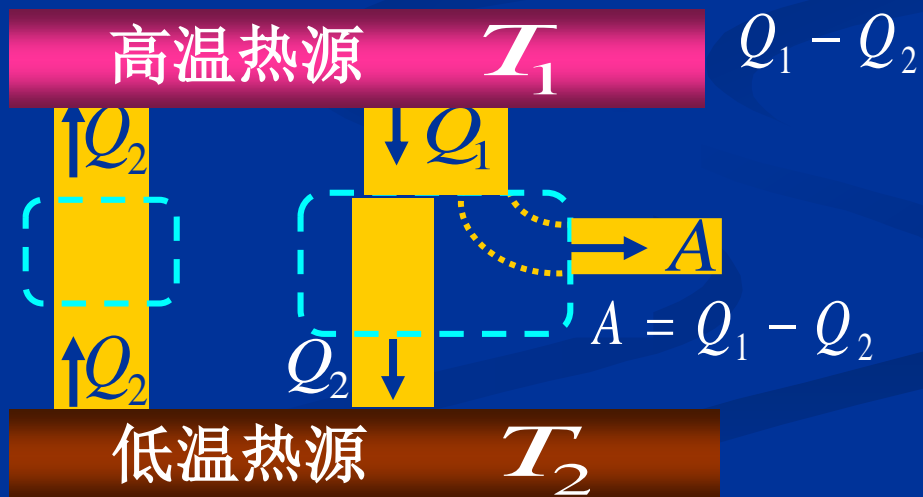
克劳修斯表述不成立



(2) 假设克劳修斯表述不成立



开尔文表述不成立

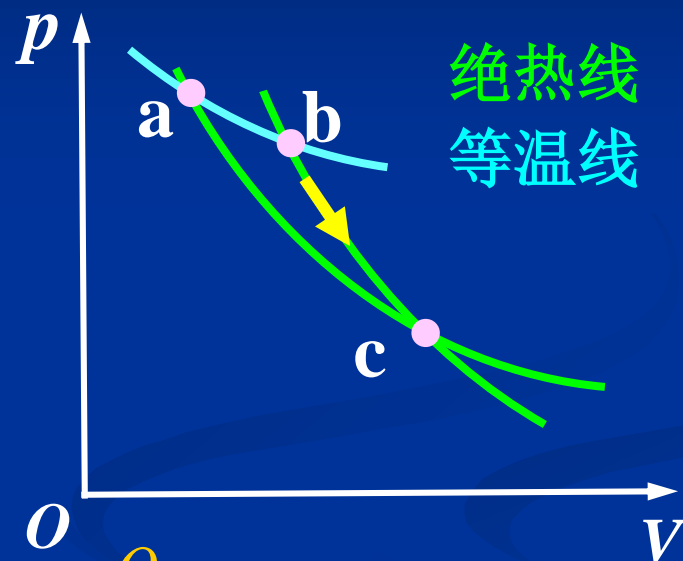


例：用热力学第二定律证明：在  $p-V$  图上任意两条绝热线不可能相交

证：反证法

设两绝热线相交于  $c$  点，在两绝热线上寻找温度相同的两点  $a$ 、 $b$ 。在  $ab$  间作一条等温线， $abca$  构成一循环过程。在此循环过程中：

$$Q_{ab} = A \quad \eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \text{热机效率等于100\%}$$



这就构成了从单一热源吸收热量的热机。这是违背热力学第二定律的开尔文表述的。因此任意两条绝热线不可能相交。

# § 11-10 可逆与不可逆过程

## 一、概念

**可逆过程** —— 若系统经历了一个过程，而过程的每一步都可沿相反的方向进行，同时不引起外界的任何变化，那么该过程就称为可逆过程。

**不可逆过程** —— 如对于某一过程，用任何方法都不能使系统和外界恢复到原来状态，该过程就是不可逆过程。

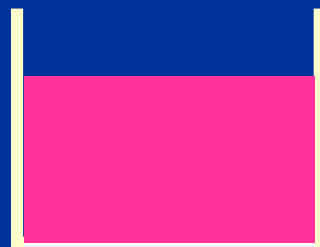
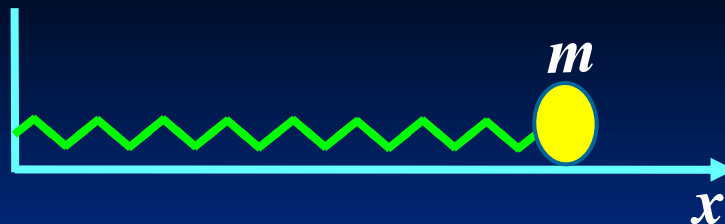
**自发过程** —— 自然界中不受外界影响而能够自动发生的过程。

一切自发过程都是单方向进行的不可逆过程。

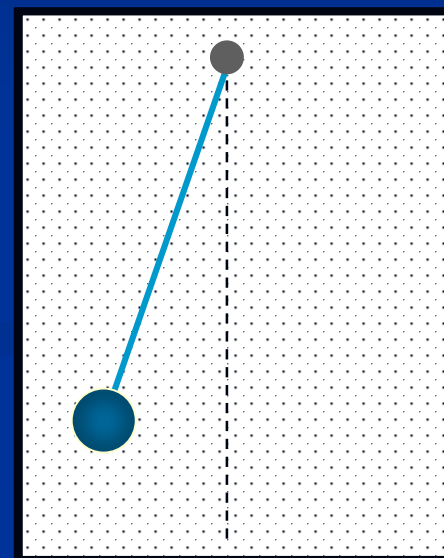
## 二、不可逆过程

### 1. 不可逆过程的实例

- 力学（无摩擦时） 过程可逆  
（有摩擦时） 不可逆
- 功向热转化的过程不可逆。
- 热量从高温自动传向低温物体的过程不可逆。
- 自由膨胀过程不可逆。



墨水在水中的扩散



(有气体) 不可逆

自然界中一切自发的实际过程都是不可逆过程。



## 2. 过程不可逆的因素

不平衡和耗散等因素的存在，是导致过程不可逆的原因。

e.g. 热传递：T不均匀；扩散：n不均匀；摩擦生热：耗散

无摩擦的准静态过程是可逆过程（是理想过程）：等温过程

## 三、热力学第二定律的实质

热力学第二定律是研究在能量守恒的前提下，过程进行的方向的问题。

热力学第二定律指出，自然界的一切自发过程都是单方向进行的不可逆过程。

——热二律的宏观意义

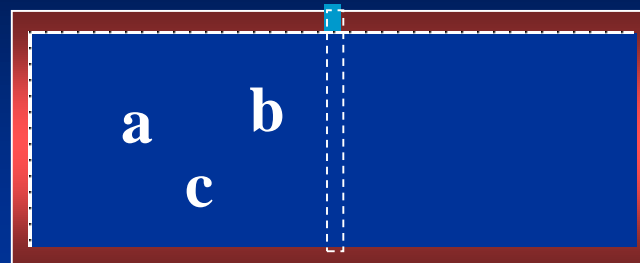
45分钟课间休息

# § 11-10 热二律的统计意义

## 一、热力学第二定律的统计意义

### 1. 气体分子位置的分布规律

#### 3个独立分子的分配方式



气体的自由膨胀

左半边	<i>abc</i>	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	0
右半边	0	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>bc</i>	<i>ac</i>	<i>ab</i>	<i>abc</i>

(微观态数 $2^3$ , 宏观态数4, 每一种微观态概率 $(1/2^3)$ )

**微观态:** 在微观上能够加以区别的每一种分配方式

**宏观态:** 宏观上能够加以区分的每一种分布方式 (数目)

对于孤立系统, 各个微观态出现的概率是相同的

## 4个独立分子时的分配方式

左半边	<i>abcd</i>	<i>abc</i>	<i>bcd</i>	<i>cda</i>	<i>dab</i>	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>cd</i>
右半边	0	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>cd</i>	<i>ad</i>	<i>ab</i>
	<i>da</i>	<i>ac</i>	<i>bd</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	0
	<i>bc</i>	<i>db</i>	<i>ac</i>	<i>bcd</i>	<i>cda</i>	<i>dab</i>	<i>abc</i>	<i>abcd</i>

(微观态数 $2^4$ , 宏观态数5, 每一种微观态概率 $(1 / 2^4)$ )

可以推知有  $N$  个分子时, 分子的总微观态数 $2^N$ ,  
总宏观态数 $(N+1)$ , 每一种微观态概率 $(1 / 2^N)$

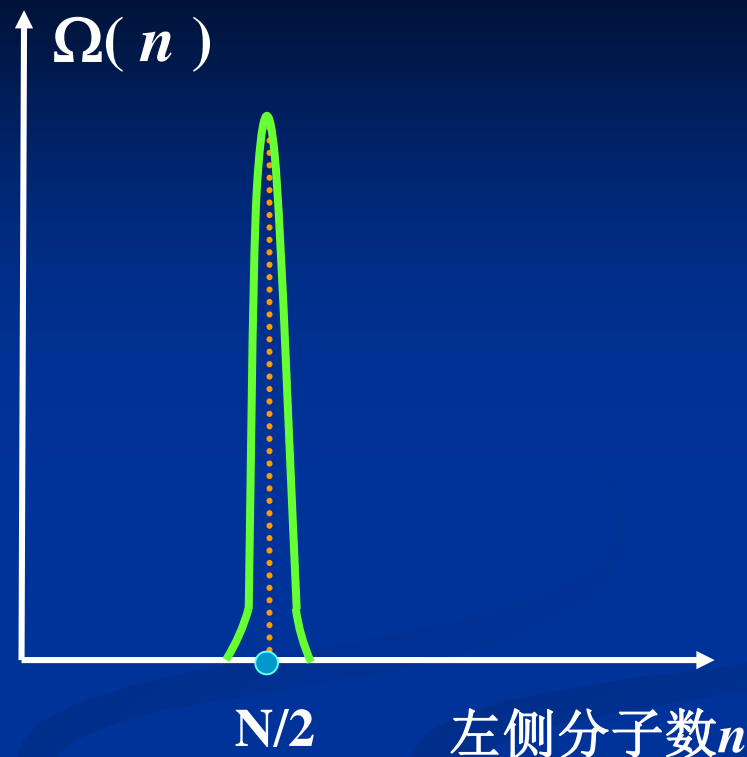
## 20个分子的位置分布

宏观状态		一种宏观状态对应的微观状态数 $\Omega$
左20	右0	1
左18	右2	190
左15	右5	15504
左11	右9	167960
左10	右10	184756
左9	右11	167960
左5	右15	15504
左2	右18	190
左0	右20	1

微观状态数最多的宏观状态是出现的概率最大的状态

## 结论:

- (1) 系统某宏观态出现的概率与该宏观态对应的微观态数成正比。
- (2)  $N$  个分子全部聚于一侧的概率为  $1/(2^N)$
- (3) 平衡态是概率最大的宏观态，其对应的微观态数目最大。



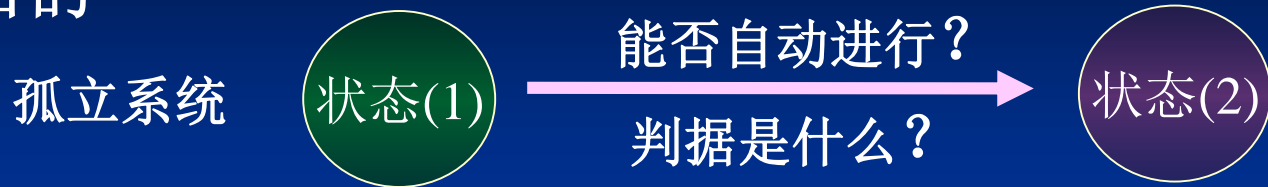
## 2. 热力学第二定律的统计意义

孤立系统中发生的一切实际过程都是从微观态数少的宏观态向微观态数多的宏观态进行。

注意：热力学第二定律对由少数几个微观粒子的体系不成立。

## 二、熵 (Entropy)

### • 引入熵的目的



微观态数少的宏观态



微观态数多的宏观态

为了定量的表示系统状态的这种性质，从而定量说明自发过程进行的方向，而引入熵的概念。

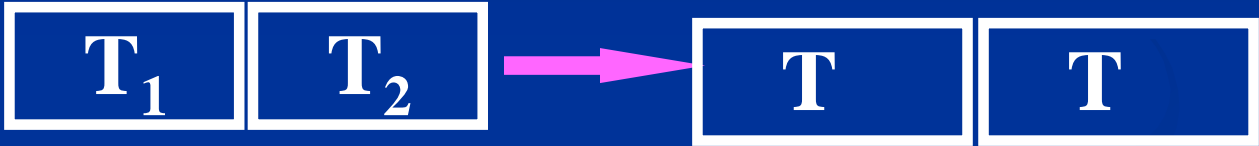
$$S = k \ln \Omega$$

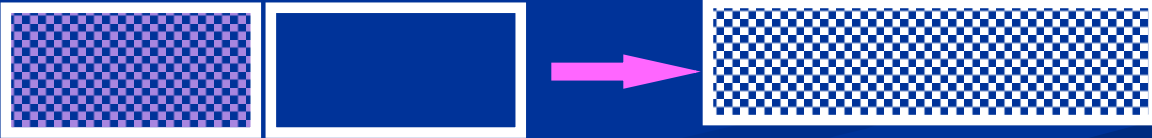
——玻耳兹曼熵公式(Boltzmann entropy)

$k$  为玻耳兹曼常数；  $\Omega$  为该宏观态包含的微观态数目；

- 熵是系统状态的函数，反映状态出现的概率。
- 一个系统的熵是该系统的可能微观态的量度，是系统内分子热运动的无序性的一种量度。

- 功热转换 机械功（电功）  $\longrightarrow$  热能  
有序运动  $\longrightarrow$  无序运动

- 热传导   
动能分布较有序  $\longrightarrow$  动能分布更无序

- 气体自由膨胀   
位置较有序  $\longrightarrow$  位置更无序



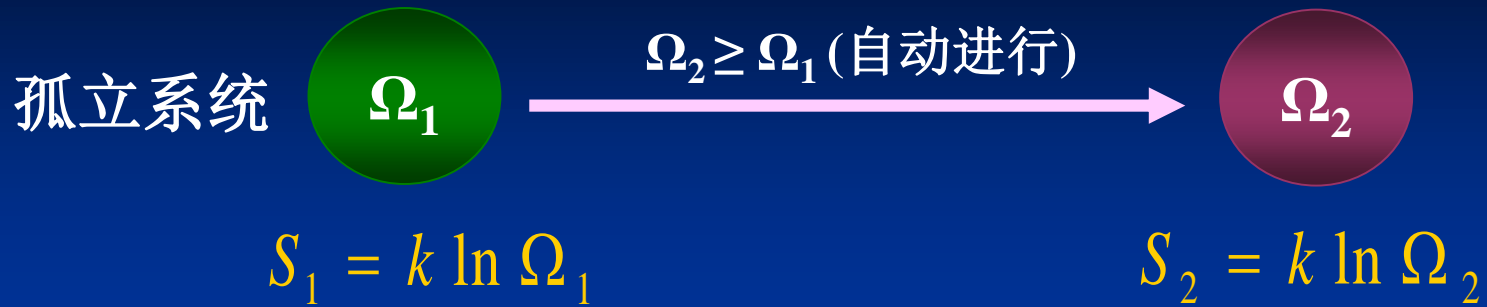


楼塌是一个从有序到无序的过程

熵增过程

不可收拾 不可逆

### 三、熵增加原理(Principle of entropy increase)



从状态(1)变化到状态(2)的过程中，熵的增量为

$$S_2 - S_1 = k \ln \frac{\Omega_2}{\Omega_1} \geq 0$$

孤立系统的熵永不会减少 ——熵增原理

$\Delta S = 0$  对应可逆过程（理想化的平衡过程）

$\Delta S > 0$  对应不可逆过程（自发进行的实际过程）



说明：熵增原理的条件：孤立系统。

45分钟本节课结束