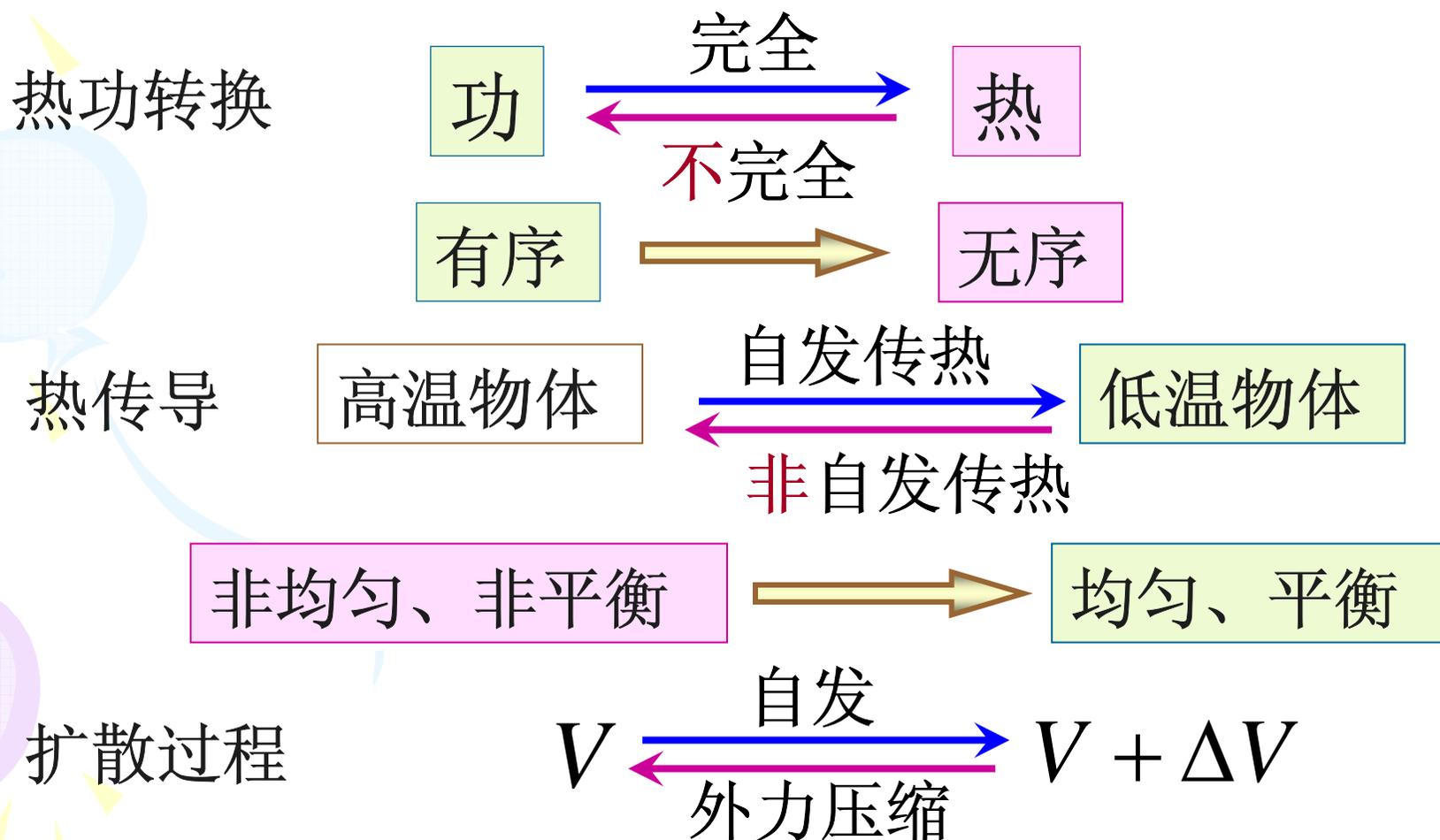


## 一 熵与无序

热力学第二定律的**实质**：自然界一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆的。



## 二 无序度和微观状态数

### ◆ 不可逆过程的本质

系统从热力学概率小的状态向热力学概率大的状态进行的过程。

### ◆ 一切自发过程的普遍规律

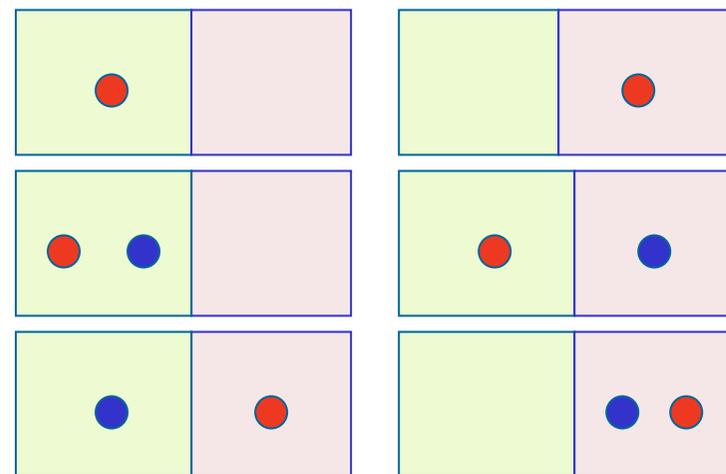
概率小的状态  $\longrightarrow$  概率大的状态

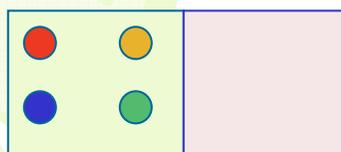
讨论  $N$  个粒子在空间的分布问题

可分辨的粒子集中在  
左空间的概率

$$N = 1, W = 1/2$$

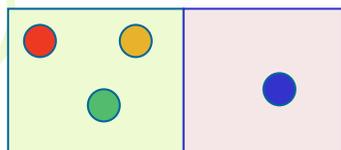
$$N = 2, W = 1/4$$





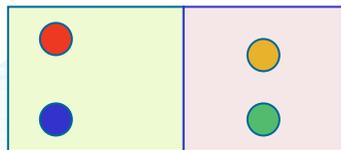
$$n_1 = 1$$

可分辨粒子总数  $N = 4$



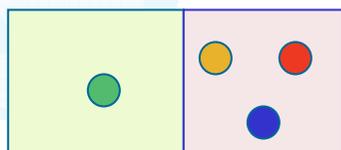
$$n_2 = 4$$

第  $i$  种分布的可能状态数  $n_i$



$$n_3 = 6$$

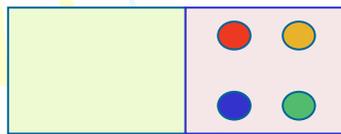
各种分布的状态总数  $\sum_i n_i = 16$



$$n_3 = 4$$

粒子集中在左空间的概率

$$W = \frac{1}{16} = \frac{1}{2^4}$$



$$n_5 = 1$$

粒子均匀分布的概率  $W' = \frac{6}{16} = \frac{3}{8}$

$N$	1	2	4	$N$	$\infty$
$W$ (左)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2^2}$	$\frac{1}{2^4}$	$\frac{1}{2^N}$	0



## 三 熵与热力学概率 玻尔兹曼关系式

熵

$$S = k \ln W$$

**W** 热力学概率（微观状态数）、无序度、混乱度。

1) 熵的概念建立，使热力学第二定律得到统一的定量的表述。

2) 熵是孤立系统的无序度的量度。（平衡态熵最大）（ $W$  愈大， $S$  愈高，系统有序度愈差。）

负熵

$$-S = k \ln \frac{1}{W}$$

$$\frac{1}{W}$$



有序度

生命科学：熵的高低反映生命力的强弱。

信息论：负熵是信息量多寡的量度。



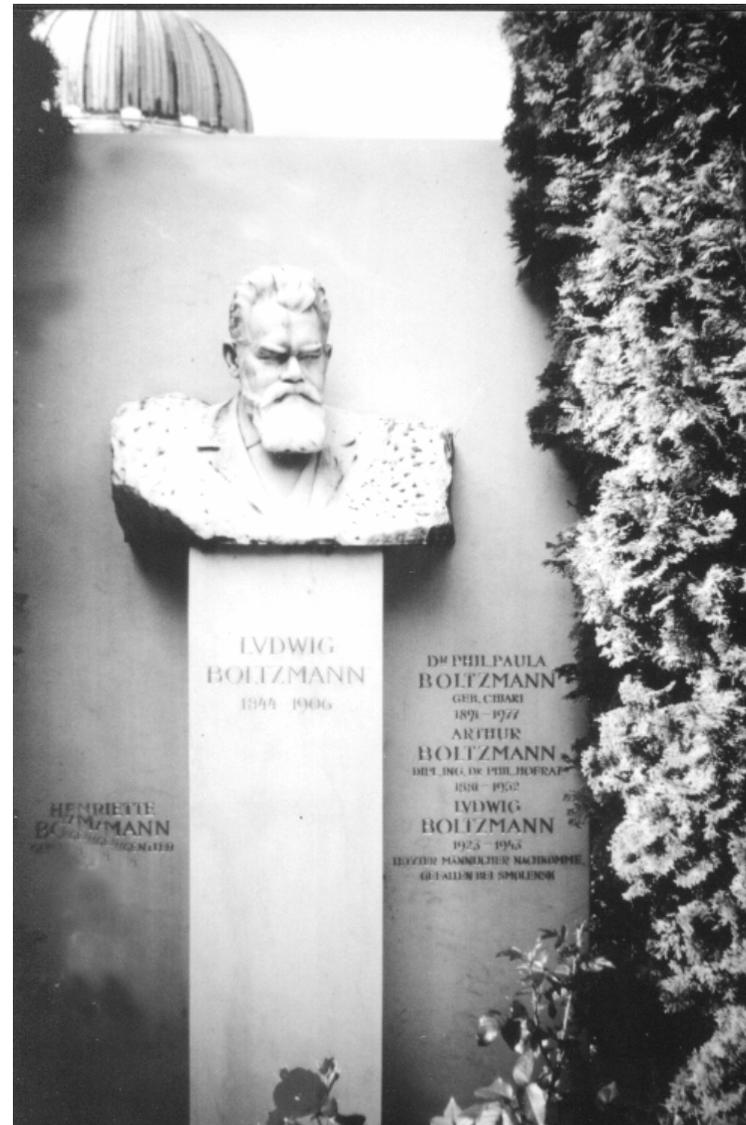
环境学： 负熵流与环境。

### 玻尔兹曼墓碑

为了纪念玻尔兹曼给予熵以统计解释的卓越贡献，他的墓碑上寓意隽永地刻着。

$$S = k \log W$$

这表示人们对玻尔兹曼的深深怀念和尊敬。



## 耗散结构

### 1) 宇宙真的正在走向死亡吗?

实际宇宙万物，宇宙发展充满了无序到有序的发展变化。

### 2) 生命过程的自组织现象

生物体的生长和物种进化是从无序到有序的发展。

### 3) 无生命世界的自组织现象

云、雪花、太阳系、化学实验、热对流、激光等。

#### 4) 开放系统的熵变

(和外界有能量交换和物质交换的系统叫开放系统)

开放系统熵的变化  $dS = dS_e + dS_i$

$dS_e$   $\longrightarrow$  系统与外界交换能量或物质而引起的熵流

$dS_i$   $\longrightarrow$  系统内部不可逆过程所产生的熵增加

孤立系统

$$dS_i \geq 0, \quad dS \geq 0$$

开放系统

$$dS_i \geq 0, \quad dS_e < 0$$

$$dS_i \leq |dS_e|, \quad dS < 0$$