

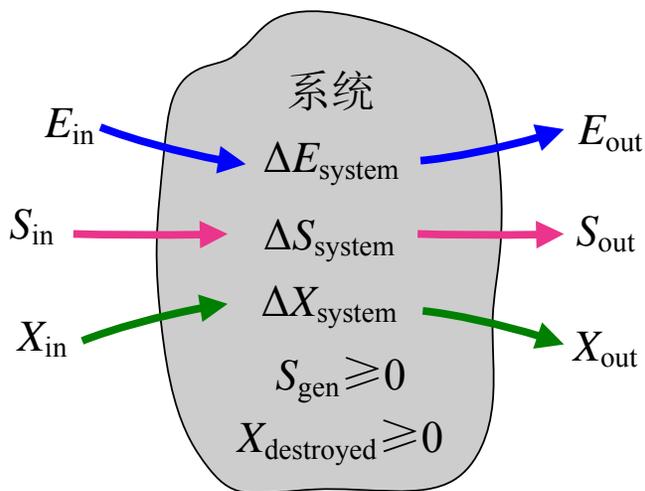
# 熵与焓概念的异同分析



吴 晶  
2014.5 镇江

# 熵和焓的一些相似之处：

## 1、都是不守恒的



$$\Delta E_{\text{system}} = E_{\text{in}} - E_{\text{out}}$$

$$\Delta S_{\text{system}} = S_{\text{in}} - S_{\text{out}} + S_{\text{gen}}$$

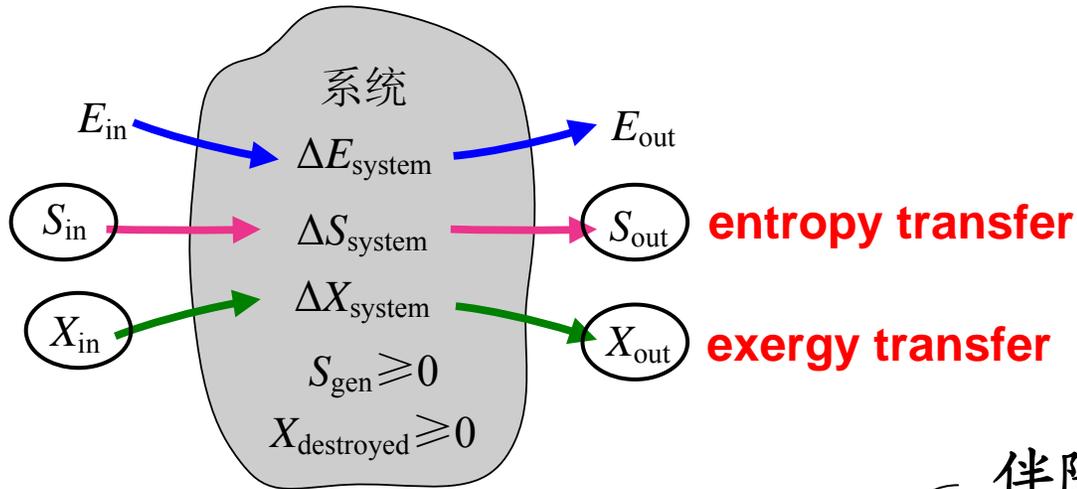
$$\Delta X_{\text{system}} = X_{\text{in}} - X_{\text{out}} - X_{\text{destroyed}}$$

守恒的量（能量）无法体现过程的不可逆性。

如何衡量不可逆性？  
去找不守恒的量！

前人“千辛万苦”地找到熵和焓这两个不守恒的物理量，用过程的**熵产**或**焓损**来衡量过程的不可逆性。

## 2、熵和焓都能传递



**传递项**

伴随**热量**而传递的熵或焓

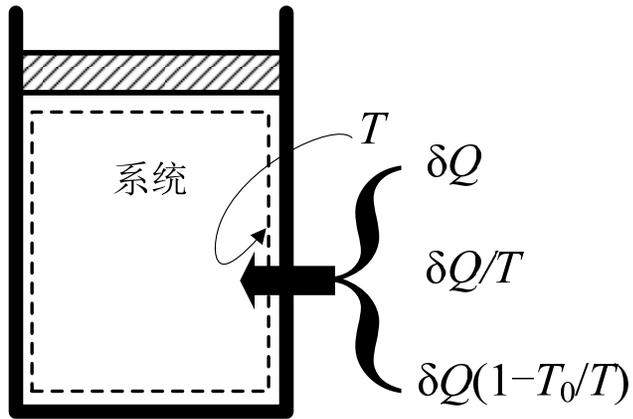
伴随**功量**而传递的熵或焓

伴随**质量**而传递的熵或焓

$$\Delta S_{system} = S_{in} - S_{out} + S_{gen}$$

$$\Delta X_{system} = X_{in} - X_{out} - X_{destroyed}$$

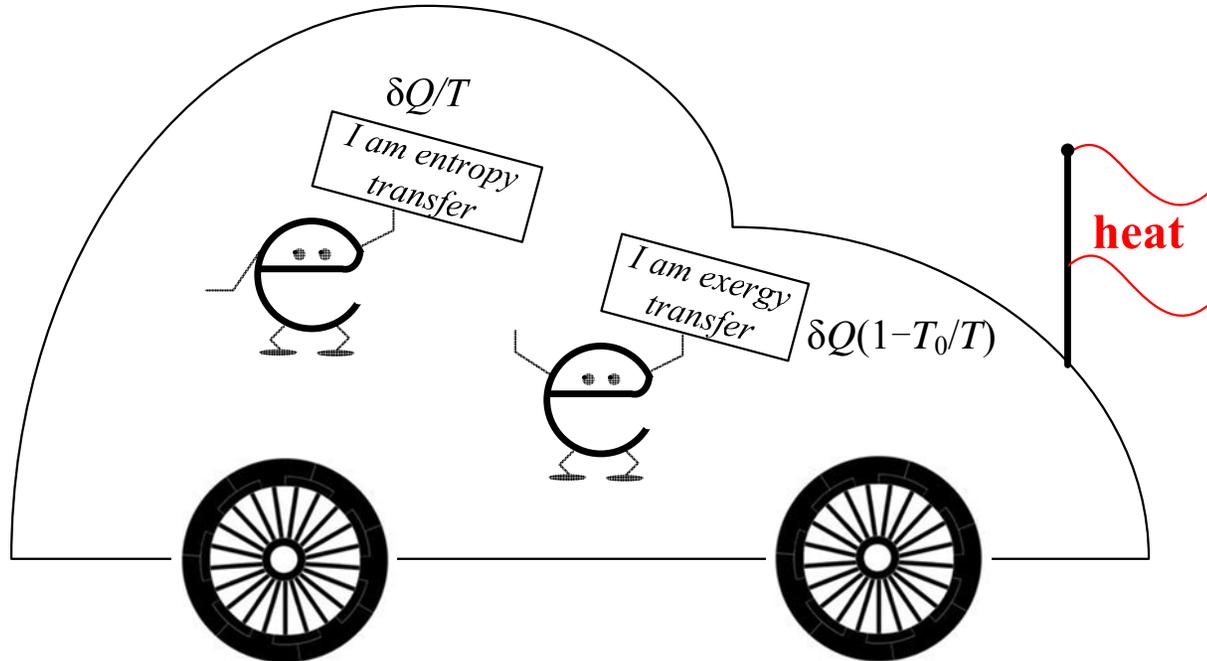
# 伴随热量传递而传递的熵和焓



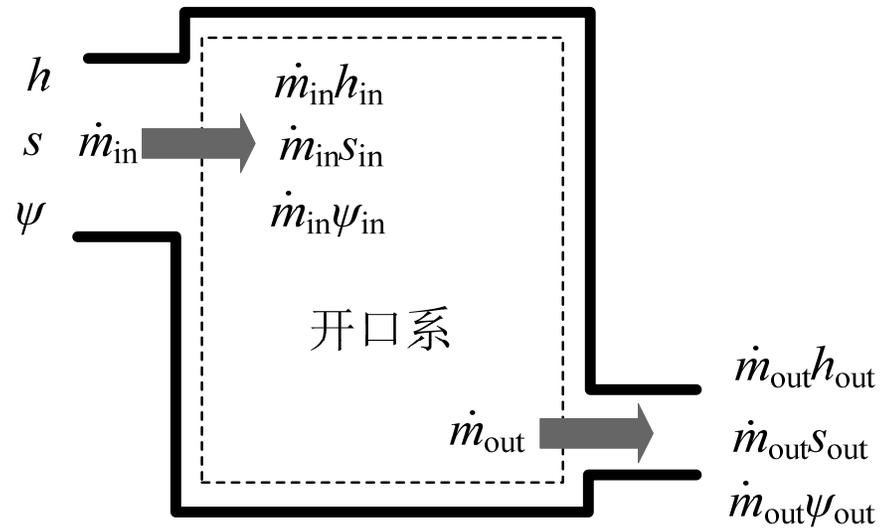
热量可看作一个载体(比喻为**汽车**)

热量传递 (比喻为**汽车行驶**)

伴随着热量传递而同时传递的物理量——熵的传递和焓的传递 (比喻为汽车中的不同**“乘客”**)



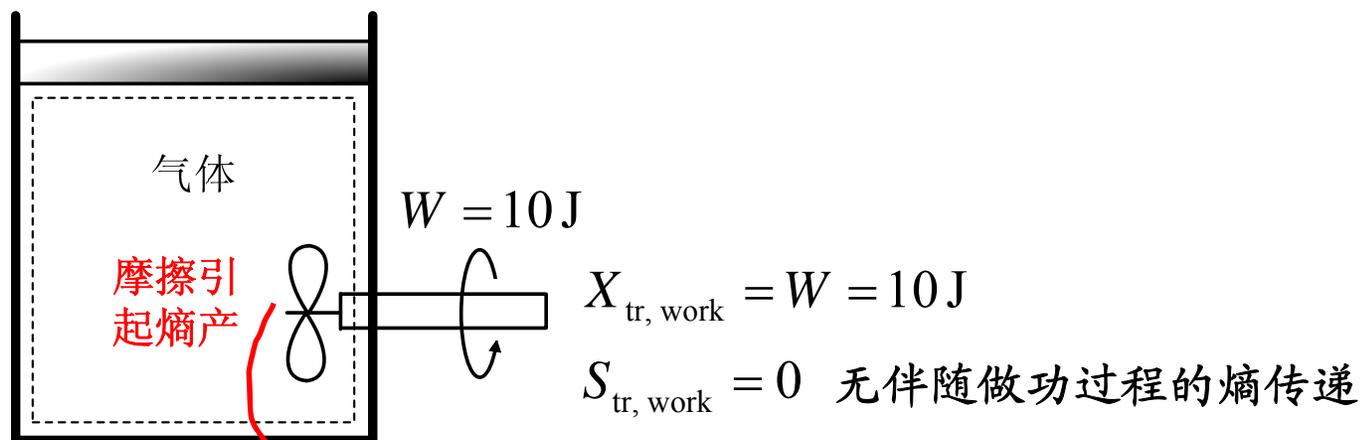
# 伴随质量传递而传递的熵和焓



对于闭口系统，无此项

# 熵和焔的不同之处:

1、伴随功量能够传递焔，但却不能传递熵



是否意味着做功过程和系统的熵完全没有关系？

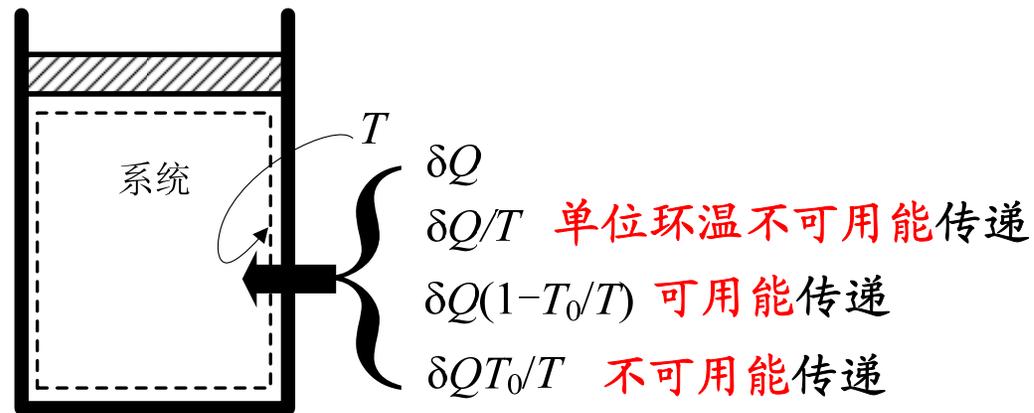
$$\Delta S_{\text{system}} = S_{\text{in}} - S_{\text{out}} + S_{\text{gen}}$$

因功量交换而引起的不可逆性通过熵产的数值反映出来

# 熵和焔的不同之处:

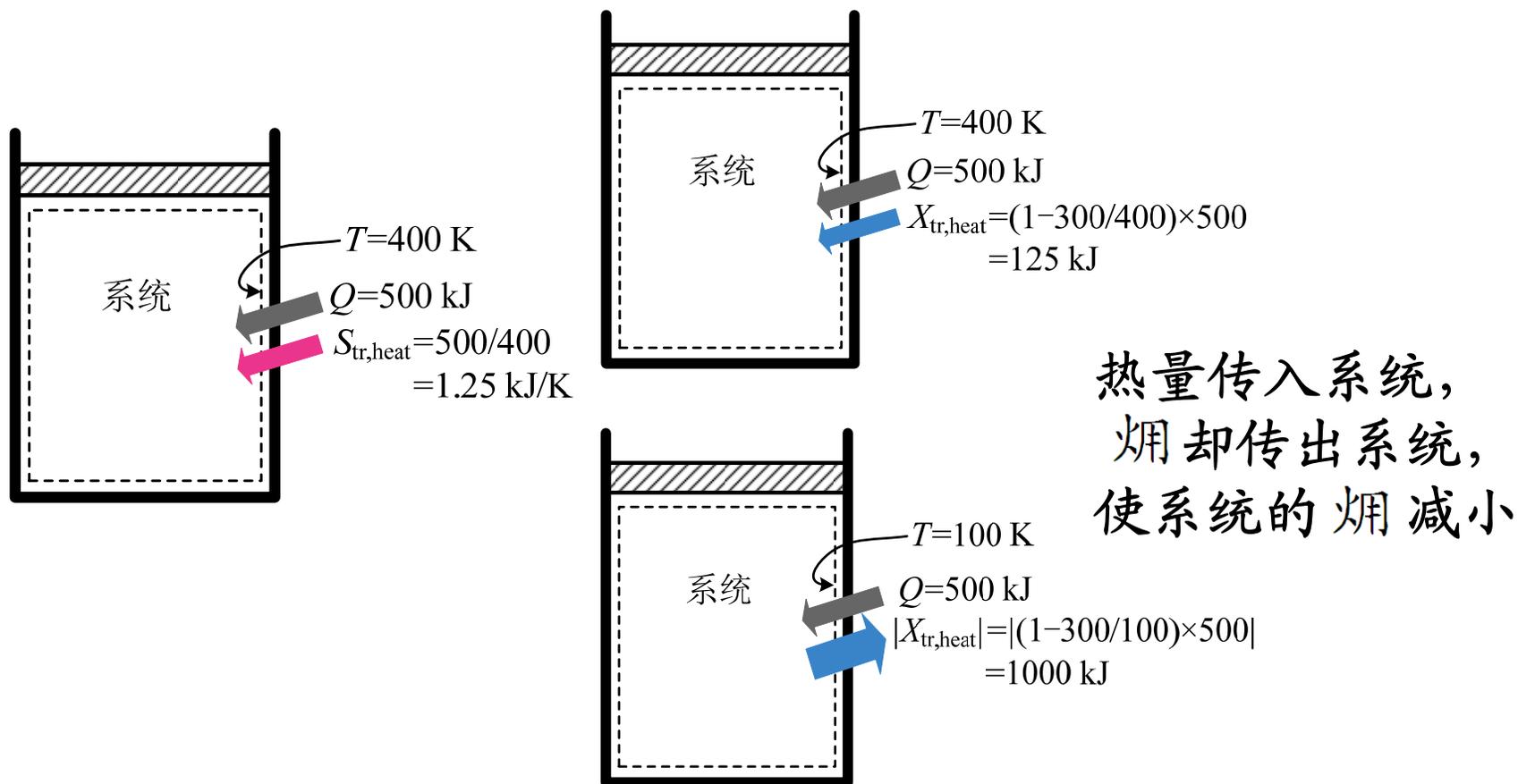
2、焔传递——可用能传递;

熵传递——不可用能传递。



# 熵和焓的不同之处:

3、熵的传递方向始终与热量的传递方向相同，而焓的传递方向与热量的传递方向有可能相反



## 熵和焓的不同之处:

4、不可逆过程导致焓的损失（焓越用越少），与此同时也会引起熵的产生（熵越用越多）

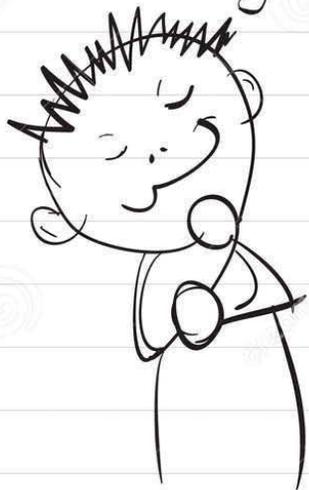
一个是有用的（**available**），一个是无用的（**unavailable**），不可逆性使有用的损失了（**exergy destruction**），使无用的产生了（**entropy generation**）

互补，相处“融洽”

伴随热量传递的焓 + (环境温度 × 伴随热量传递的熵) = 热量

焓损 = 环境温度 × 熵产

什么东西越来越少，  
什么东西又越来越多？



珍贵的，有用的



废弃的，无用的

# 熵和焓 哪个理解起来更容易？

仁者见仁，智者见智

初学者或许更喜欢焓：

- 能量单位J；代表做功潜力，有“可感知性”
- 熵单位J/K；“可感知性”大大下降，熵是什么？学熵“伤心、伤脑筋”

## 也有人喜欢熵:

- 以**0K**为起点的绝对熵; 系统状态确定了, 系统的熵值就确定了, 与环境参数**无关**
- 系统的焓的参考点并不是绝对零点, 而是与环境相平衡的状态 (即**dead state**), 表达式中“**掺合**”着环境参数。即使热力状态给定, 数值还受环境参数的影响

$$\Phi = (U - U_0) + p_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0)$$

$$\Psi = (H - H_0) - T_0 (S - S_0)$$

# 焗的定义涉及到三个人称

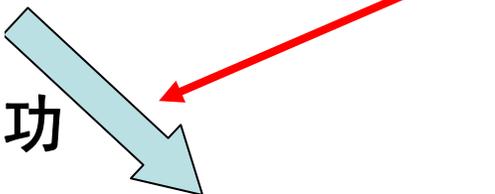
做功的热力系统为第一人称

环境为第二人称



限制

有用功



做有用功的对象为第三人称

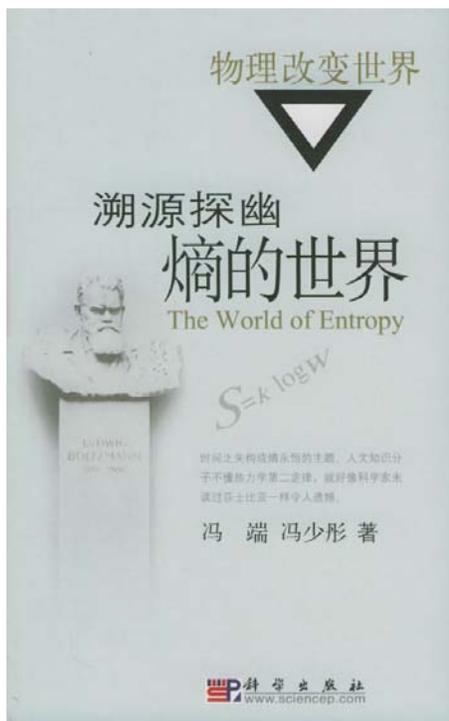
## 也有人喜欢熵:

- 3、伴随功量的传递不传递熵，但传递 焓，因此很多情况下熵平衡方程比火用平衡方程包含的物理量少  
在求解 焓 损失时，往往先通过熵方程求出熵产，再乘以环境温度。

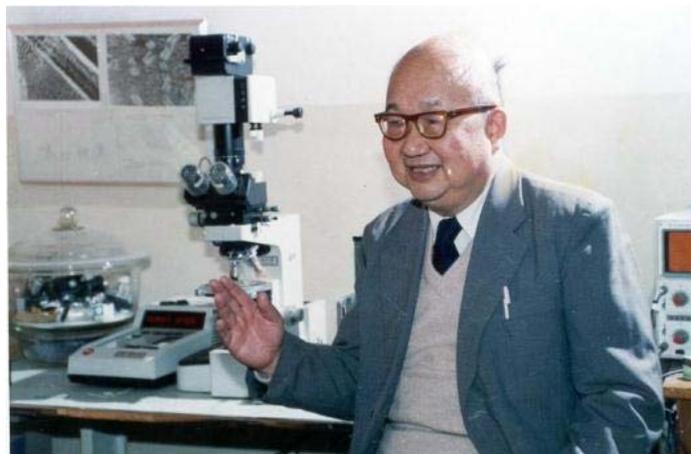
$$\Delta S_{\text{system}} = \underbrace{S_{\text{in}} - S_{\text{out}} + S_{\text{gen}}}_{\text{包含的物理量少}} \quad \Rightarrow \quad T_0 S_{\text{gen}} = X_{\text{destroyed}}$$

$$\Delta X_{\text{system}} = \underbrace{X_{\text{in}} - X_{\text{out}} - X_{\text{destroyed}}}_{\text{包含的物理量多}}$$

# 《溯源探幽——熵的世界》



❖ 冯端



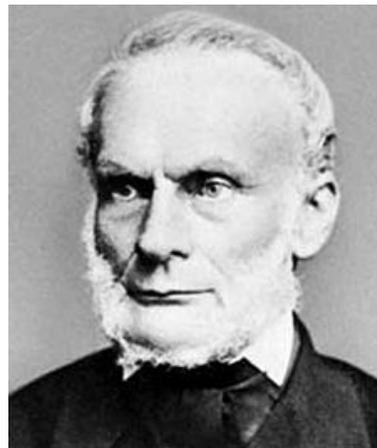
(1923-)

熵是一个极其重要的物理量，但却又以其难懂而闻名于世。

“在头脑中掌握第二定律要比第一定律困难得多”

S

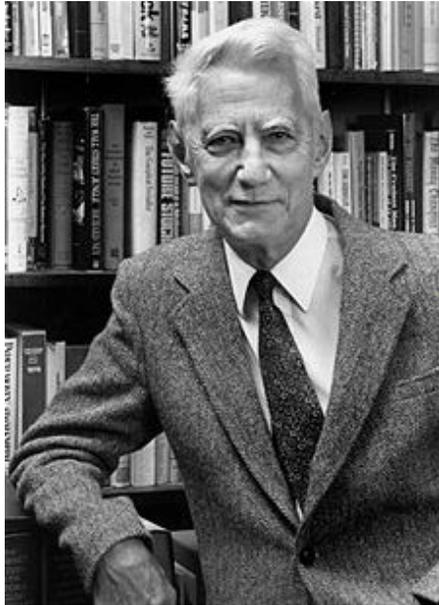
克劳修斯曾经花了**15**年时间来研究**Carnot**于**1824**年完成的被认为是热力学学科的奠基文章《论火的动力》



Rudolf Clausius(1822-1888)



Sadi Carnot (1796-1832)



**Claude, Shannon**  
(1916-2001)

申农

lost information  
measure of uncertainty

**What to call it?**

**You should  
call it entropy!**

信息熵



**John von Neumann**  
(1903-1957)

冯·诺依曼 (计算机之父)

“no one knows what entropy is,  
so in a debate you will always have  
the advantage”

$$S=k\log W$$

玻尔兹曼的研究被学术界认为是不能实证的、虚构的“数学模型”或假设，遭到了强烈的质疑和反对。

“我意识到我只是一个**软弱无力地与时代潮流抗争的个人**，但仍在我力所能及的范围内为这方面做出些贡献，使得一旦气体理论复苏之后，不需要重新发现许多东西。”

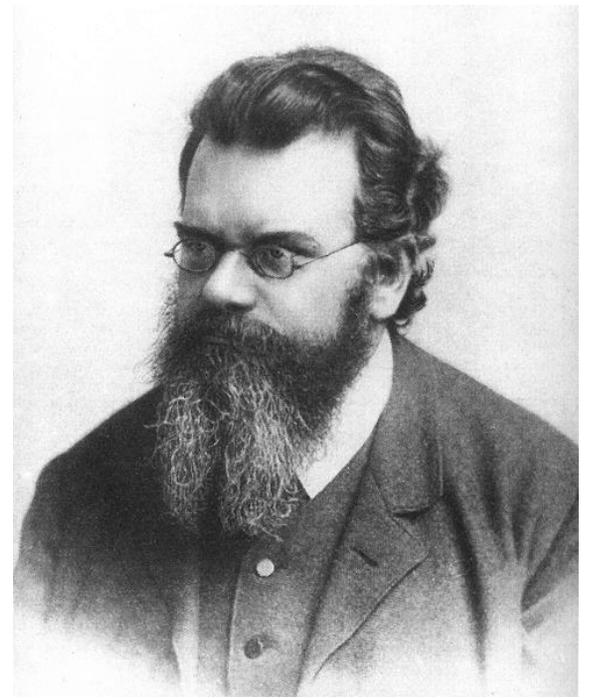
——玻尔兹曼

随着分子、原子不可观测的神话被打破，玻尔兹曼所作的贡献得到了充分的肯定。



“难以置信：结果，一旦发现，  
是如此自然、简明；  
而到达的途径却漫长而艰辛！”

——玻尔兹曼





# 思考题

1. 在热力学中特别强调应区别过程量(热量、功)和状态量(压力、温度、焓、熵等)。那么,在物理学的其它分支学科(如力学、电学)中是否有过程量和状态量的区别?如果有,为什么不去区分它们?
2. 熵、焓(可用能)、热量的品位这些概念在别的学科是没有,还是不用?为什么?