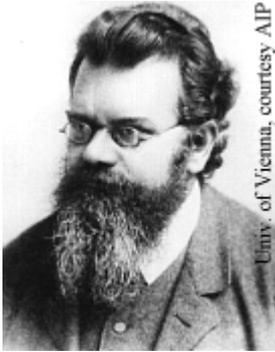


物  
理  
報  
告

釋家：波茲曼 (Ludwig Boltzmann)

學生：蕭 易 洋

# 科學家生平



Univ. of Vienna, courtesy AIP

波茲曼 (Ludwig Boltzmann, 1844~1906) 奧地利物理學家以及統計熱力學的創始人。1844 年 2 月 20 日誕生於維也納，從小受到很好的家庭教育，勤奮好學，讀小學、中學時一直是班上的優等生。1863 年以優異成績考入著名的維也納大學，受到 J. 斯忒藩、J. 洛喜密脫等著名學者的讚賞和栽培。1866 年獲博士學位後，在維也納的物理學研究所任助理教授。此後他歷任拉茨大學、維也納大學、慕尼黑大學和萊比錫大學的教授。1899 年被選為英國皇家學會會員。他還是維也納、柏林、斯德哥爾摩、羅馬、倫敦、巴黎、彼得堡等科學院院士。他執教於奧地利與德國，並使用統計的方法來解釋一些自然現象，發表了這個領域一些重要的論文。廣為人知的是他發展出能量在物質粒子之間分布的關係，以及 entropy 與機率的關係，後者的重要性在於他使用統計的方式來導出熱力學第二定律。大家熟知的波茲曼常數（一莫耳的氣體常數）即是為了紀念他而命名的。波茲曼主要從事氣體動力論、熱力學、統計物理學、電磁理論的研究。在這些方面他都作出了重大的貢獻。他是氣體動力論的三個主要奠基人之一（還有克勞修斯和麥克斯韋），由於

他們三人的工作使氣體動力論最終成為定量的系統理論。1868至1871年間，波茲曼把麥克斯偉的氣體速率分佈律推廣到有勢力場作用的情況，得出了有勢力場中處於熱平衡態的分子按能量大小分佈的規律。在推導過程中，他提出的假說後被稱為“各態歷經假說”，這樣他就得到了經典統計的分佈規律——波茲曼分佈律，又稱麥克斯韋-波茲曼分佈律。並進而得出氣體分子在重力場中按高度分佈的規律，有效地說明大氣的密度和壓力強度隨高度的變化的情況。

波茲曼分佈律只反映氣體平衡態的情況，他並不滿足，進一步研究氣體從非平衡態過渡到平衡態的過程，于1872年建立了著名的波茲曼微分積分方程。他引進了由分子分佈函數定義的一個函數 $H$ ，進一步證明得出分子相互碰撞下 $H$ 隨時間單調地減小——這就是著名的 $H$ 定理，從而把 $H$ 函數和熵函數緊密聯繫起來。 $H$ 定理與熵增加原理相當，都表徵著熱力學過程由非平衡態向平衡態轉化的不可逆性。 $H$ 定理從微觀粒子的運動上表徵了自然過程的不可逆性，為當時科學家們所難於接受。1874年開爾文首先提出所謂“可逆性佯謬”：系統中單個微觀粒子運動的可逆性與由大量微觀粒子在相互作用中所表現出來的宏觀熱力學過程的不可逆性這兩者是矛盾的，由單個粒子運動的可逆性如何會得出宏觀過程的不可逆性這樣的結論？波茲曼繼續潛心

研究，1877 年圓滿地解決了這一佯謬，從而使自己的研究工作推向了一個新的高峰。

# 理 論

## *Stefan-Boltzmann Law*

西元 1879 年，Josef Stefan ( 1835-1893 ) 由實驗結果歸納得出，總光譜輻射率與空腔輻射體之絕對溫度的四次方成正比，1884 年這一關係由 Ludwig Boltzmann (1844-1906) 利用電磁理論和熱力學的觀點加以證明，此即所謂 Stefan-Boltzmann 定律。

西元 1893 年，德國物理學家維恩 ( Wilhelm Wie , 1864-1928 ) 依據 Stefan- Boltzmann 定律導出熱輻射能量分佈定律的經驗公式，西元 1900 年，英國物理學家雷利 ( Lord Rayleigh , 1842-1919 ) ， 與英國天文學家及物理學家琴斯 ( Sir James Hopwood Jeans , 1877-1946 ) 提出著名的 " The Classical Formula of Rayleigh- Jeam " ，雖然有錯誤，卻激起後面的人更努力，最後由德國理論物理學家蒲朗克(Max Karl Ernst Ludwin Planck , 1858-1947 ) 得到正確的輻射分佈定律，更使量子論由此誕生。

茲將上述各研究者之定律加以討論：

(1) Stefan-Boltzmann 定律 ( 西元 1879 , 884 )

即

$$R = \sigma T^4 \dots\dots\dots(1)$$

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (watt.m}^{-2}.\text{K}^{-4})$ ，稱 Stefan-Boltzmann constant。為實驗決定的常數。

R=總光譜輻射率，T=絕對溫度。

(2)維恩的輻射公式：( 西元 1893 )

維恩根據分子運動論的想法來求輻射公式，即：

a、b 為 constant， $\lambda$  =波長，此式為一經驗公式，又稱 Wien formula

( distribution )。

(3)雷利-琴斯的輻射公式：( 西元 1900 年 )

關於輻射的問題，雷利和琴斯將它當作遵循馬克士威方程式的電磁場來討論，其推

導結果如下：

$$dR/d\lambda = (2\pi^5 CKT^4)/(\lambda^4) \dots\dots\dots(3)$$

此式稱 Rayleigh-Jeans formula or Rayleigh-Jeans distribution 。

(4)蒲朗克的量子假設

蒲朗克針對 Rayleigh-Jeans formula 的錯誤加以修正，即假設能量是量子化，再

利用 Maxwell-Boltzman distribution 公式，推導出正確的輻射公式為：

$$dR/d\lambda = (2\pi hc^2/\lambda^5)(1/ehc/\lambda KT^{-1}) \dots\dots\dots(4)$$

利用此式印証 Stefan-Boltzmann Law ，由此結論可知普朗克的量子假設是正確的。

# 對科學的貢獻

年份	貢獻
1868 年	將馬克斯威分子速度分布律推廣到有外力場存在的情況，得到波茲曼能量分布律。
1871 年	發表了近獨立子系的統計法。
1872 年	建立了關於輸送過程的波茲曼微分積分方程，提出 H 定理。
1917 年	瑞典的 D. 恩斯科格(David Enskog, 1884~1947)用級數展開求得微分積分方程的精確解。
1871 年	找到熵與幾率之間聯繫的波茲曼關係式，對熱力學第二定律做出了統計解釋—波茲曼的最大貢獻
1879 年	奧地利的 J. 史第芬(Josef Stefan, 1835~1893)從實驗發現了黑體在單位時間、從單位面積輻射的能量與溫度的四次方成正比
1884 年	波茲曼從理論上訂出了這個關係，現在稱為史第芬-波茲曼定律。