

①
133-136

宇宙热寂说研究进展

张建树 孙秀泉

0414.11

(西北大学物理学系, 710069, 西安; 第一作者 55 岁, 男, 副教授)

摘要 对宇宙热寂说的缘起进行了简单回顾, 评述了宇宙是否热寂的几种主要观点及其当前研究进展。

关键词 熵; 宇宙热寂说; 热力学第二定律
分类号 O414.11

引力论

1 热寂说的提出

热力学第二定律被著名物理学家爱丁顿(Eddington)誉为“自然界至高无上的法则”。它可表述为克劳修斯(Clausius)不等式^[1]:

$$\oint \frac{dQ}{T} \geq 0. \quad (1)$$

正是由于态函数——熵的发现, 进一步可将热力学第二定律表述为: 孤立系统内发生的任何过程都不会使熵减少, 即 $dS \geq 0$ 。 (2)

这是物理学史上首次以不等式表述的基本物理定律, 证明了并不是所有服从热力学第一定律的过程都是可以实现的^[2]。它揭示了自然界发展的方向性和时间的不可逆性, 即“时间之矢”。于是, 时间不再是看成对称和反演不变的, 时间不仅与三维空间构成四维时空可以描述系统的状态, 而且可以用来描写系统演化和发展的历史。

对于熵理论的重要意义, 我们可以从爱因斯坦(Einstein)的评价中体会出来, “熵理论对于整个科学来说是第一法则”。在某种意义上说, 它的重要性还体现在导致了“宇宙热寂说”, 并引起了广泛的注意和旷日持久的争论。

最早提出热寂说的是开耳芬(Kelvin)。1862年他在《关于太阳热的可能寿命的物理考察》一文中提出了宇宙热寂说的观点, 认为热力学第二定律包含着一种趋势, 即能量不断地以热的形式耗散, 最终将出现宇宙静止和死亡的状态。

1867年克劳修斯对热寂说做了另一番描述: “宇宙越是接近于熵极大的极限状态, 进一步变化的能力就越小, 如果最后完全达到这个状态, 那就任何更进一步的变化都不会发生了, 这时宇宙就会进入一个死寂的永恒状态。”这一论述与开耳芬的论述没有本质上的区别, 只是应用了熵增加原理, 更加数学化, 更易于让人接受。

2 麦克斯韦妖

热寂说所预言的令人恐惧的前景吸引了众多的科学家参与到其中来, 于是便开始了长达 100 多年的理论纷争。

热寂说提出不久, 恩格斯便对其进行了猛烈地抨击, 斥为当时最荒谬的理论。他认为: “散射到太空

中去的热必须有可能以某种方法——阐明这种方法将是以后自然科学的问题——转变为另一种形式，在这种运动形态中它能够重新集结和活动起来。”^[2]然而恩格斯的论述仅仅是基于对世界未来的乐观信仰，未提出科学的证明，因而不十分令人信服。

热寂说遇到真正的挑战是麦克斯韦(Maxwell)在 1871 年提出的以他名字命名的所谓“麦克斯韦妖”的设想：假设将一容器内处于平衡态的气体用一壁隔开，壁上开一扇无摩擦可自由开合的小门。此门由一小精灵把守，让气体中高速运动的分子从左进入右侧，而让气体中低速运动的分子从右进入左侧，这样就可以从平衡状态达到非平衡态，从而自发地实现熵减。

显然，只要能够证明麦克斯韦妖的存在，热寂说就自然被否定了。于是科学家们用尽各种方法证明麦克斯韦妖的存在，却屡屡失败。直到 1951 年法国科学家布里渊(Brillouin)从信息论出发否定了麦克斯韦妖的存在。他认为麦克斯韦妖要在封闭的黑箱中识别高速分子与低速分子，就要先照亮气体分子，获得信息，这就要消耗有效能量增加环境的熵。若将光源、小妖和系统看作大系统，熵增加原理仍然成立。

3 热力学第二定律的应用范围

综合各种对热寂说的批评，所引据最多的理由是，热寂说的根本错误在于把局域范围或孤立系统得出的结论(热力学第二定律)不合理地外推到无穷的宇宙中去。然而至今我们所以在宇宙学的研究上不断取得进展，在天体物理上取得重大成就，都是借助于现有物理学和其他科学研究成果所得到的定律、定理。热力学第一定律处处适用，为什么偏偏热力学第二定律用于宇宙就受到非难呢？根据克劳修斯的宇宙论，宇宙的能量是有限的，那么由质能关系式可知，宇宙的质量也是有限的。即宇宙可以构成一个孤立系统，而孤立系统的熵永不减少，这正是熵增加原理的结果。足见热寂说所依赖的科学基础相当牢固。所以关于热力学第二定律应用范围的争论似乎是一个更加具有根本性的问题。

我国学者彭匡鼎试图单纯从物理角度探讨热力学第二定律的应用范围^[5]。他认为如果将包含无穷子系统的宇宙作为系统，则描述不同宏观态的微观态数是些同级无穷大，因此一切宏观态都是对等的。不可能存在这样的倾向，使得系统由一个概率较小的态过渡到概率较大的态。热力学和统计物理学中关于热平衡的概念不适用于无穷的宇宙。作为例子，研究一个经典的可计数的相同子系的集合。系统的熵 S 与热力学概率 W 的关系为 $S = k \ln W$ 。一个宏观态所包含的微观态总数为

$$W = \frac{N!}{\prod (N_i)!} \quad (3)$$

由斯特令公式可得

$$W \approx \frac{N^N}{\prod N_i^{N_i}} = \prod \left(\frac{N}{N_i}\right)^{N_i} \quad (4)$$

因为 $N/N_i > 1$ ，故可设 $N/N_i = 2^{\alpha_i}$ ， $\alpha_i > 0$ ，则有

$$W = 2^{\sum \alpha_i N_i} \quad (5)$$

当 N 是无穷大时， N_i 也是无穷大，因而 $\sum \alpha_i N_i$ 是无穷大。所以 W 是更高级的无穷大——连续统级的无穷大。

4 宇宙膨胀论

1965 年在波长 7.35 cm 上首次发现宇宙间存在几乎各向同性的背景辐射。后来在 0.3 mm 到 70 cm 波段内许多波长上所进行的观测表明，该背景辐射具有黑体谱，是温度相当于 2.74 K 的黑体辐射，一般称之为 3 K 微波背景辐射。这种辐射正好解释为宇宙早期赤热火球的暗淡余光。因为按照大爆炸理论，随着宇宙膨胀，原始火球的赤热黑体辐射势必要拉长波长，降低温度，进而导致今天在微波段观测到 3 K 的微波背景辐射。微波背景辐射的发现，宇宙大爆炸理论为更多的人所接受。试图用宇宙膨胀

理论否定热寂说的人们认为,由于宇宙膨胀,从而导致各类物质的温度降低。

宇宙间的物质可以分为两大类:一类是粒子性的物质,如原子、中子、质子、介子等;另一类是辐射,即各种光、中微子等。为了估算方便,略去两部分之间的相互作用,把宇宙视为热力学系统。考虑绝热膨胀,则有

$$dE = -pdV. \quad (6)$$

若把粒子部分视为粒子数为 N 的理想气体,则 $p = nkT, E = \frac{3}{2}NkT, V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 其中 R 为膨胀的宇宙半径。将其代入式(6)积分得

$$T_m = AR^{-2}, \quad (7)$$

式中 A 为宇宙形成时初始条件决定的常数。

对于辐射部分,按照辐射定律有 $\rho = \sigma T^4, p = \frac{1}{3}\rho c^2, E = \rho c^2 V$, 其中 ρ 为场质量密度。将上面诸式代入式(6)积分得

$$T_r = BR^{-1}, \quad (8)$$

式中 B 为宇宙形成时初始条件决定的另一常数。

以上结果表明,随着宇宙的膨胀,粒子性物质温度下降,辐射物质温度也下降,但二者下降的方式不同,随着 R 的增大, T_m 降低得比 T_r 快。即使在宇宙演化过程有一个时刻 $T_m = T_r$, 则随着宇宙的膨胀,将从平衡态走向非平衡态,从而否定了热寂^[6]。

但反对者认为,如果考虑了粒子与辐射之间的碰撞,则膨胀导致的温度差会很快消失,因此最终将达到平衡,也就是说热寂。但是,如果达到平衡的时间比宇宙膨胀的时间还长,则辐射与粒子间永远不会达到平衡。是否真的达到平衡的时间会更长,还有待于做进一步证明。

5 引力论

在反驳热寂说较为流行的理论中,引力理论似乎拥有更多的支持者,包括著名理论物理学家朗道(Landau)^[9]。

众所周知,宇宙间星体运动状态的维系与变化主要是由于引力的作用。还要特别指出的是,宇宙间的天体或天体系统大多数还是自引力系统。所谓自引力系统就是由自身引力来维系的系统。例如太阳就是一个典型的自引力系统。

一个处于稳定状态的自引力系统是负热容的,具有与日常经验相反的特性。若给自引力系统提供能量,系统的温度降低;若由自引力系统取走能量,系统的温度反而升高。比如说让太阳内部核反应停止,即没有能源为太阳提供能量,太阳仅由辐射而失去能量。其结果太阳不但不变冷,反而温度升高,变得更热。

在热力学的分析中,分子间的引力总是被忽略掉了的。为了说明考虑引力之后的情况,我们看一个例子。一个孤立的理想气体系统,如果气体分子的分布不均匀,在不断的碰撞作用下,分子分布趋于均匀。这正是热力学第二定律所预言的结果。但如果考虑了引力作用,则分子密度大的地方引力更强一些,也就会吸引更多的物质,形成更高的密度。相反,若某个区域,由于涨落,密度减少了一点,其引力变弱,于是就会有更多的物质逃逸这个区域,密度会变得更小。这种发展趋势与热力学第二定律所预言的结果完全相反。

正如引力理论工作者们所担心的一样,如果说引力理论解决了宇宙热寂问题,那么这种物质聚集的趋势最终将导致什么后果呢?也许另一种悲观的结论等着我们。这些问题至今尚未解决。

上面我们评述了当今关于宇宙热寂问题的 3 种观点,分别围绕着热力学第二定律的应用范围、宇宙膨胀理论和引力理论进行了简短讨论。这 3 种观点代表着研究宇宙热寂说的 3 个主要流派。限于篇幅,还有些观点(如“振荡宇宙模型”等)尚未涉及到。无论那一种理论都不能完全令人信服地解释宇宙热寂

的所有问题,还都存在着分歧和争论,有些作者甚至宣布热寂说已经终结^[8],看来为时过早。其根本原因在于热寂说所依赖的主要科学基础相当牢固,而向热寂说挑战的许多论点的依据在科学上还不十分成熟甚至属于未知领域。

参 考 文 献

- 1 马本堃,高尚惠,孙煜. 热力学与统计物理学. 北京:高等教育出版社,1994
- 2 恩格斯. 自然辩证法. 北京:人民出版社,1995. 25
- 3 王彬. 熵与信息. 西安:西北工业大学出版社,1994
- 4 Adkins C J. Equilibrium Thermodynamics. London: Cambrigse University Press, 1983
- 5 彭匡鼎. 热力学第二定律的应用限度. 自然杂志,1990,13(2):98~100
- 6 段恒勇,夏德勇. 热死佯谬的一种数学证明. 哈尔滨师范大学自然科学学报,1994,10(2):18~22
- 7 葛兰斯多夫 P,普里高津 I. 结构、稳定与涨落的热力学理论. 海产合,张建树,江耀华译. 西安:陕西人民教育出版社,1990
- 8 赵凯华. 热寂说的终结. 见:赵光武主编. 现代科学的哲学探索. 北京:北京大学出版社,1993. 29~42

责任编辑 张银玲

The Present Condition in the Research of the Universe Heat Death Theory

Zhang Jianshu Sun Xiuquan

(Department of Physics, Northwest University, 710069, Xi'an)

Abstract The origin, several viewpoints and recent progress on the universe heat death theory are represented.

Key words entropy; the universe heat death theory; the second law of thermodynamics

· 学术动态 ·

秦岭重大项目在我校结题验收

我校张国伟教授主持的国家自然科学基金“八五”重大项目“秦岭造山带岩石圈结构、演化及其成矿背景”结题验收评议会于1997年1月28日~31日在我校召开。该项目是由国家自然科学基金委和地矿部行业基金联合资助的,由我校和中国地质大学、地矿部地质勘查技术院等15个单位150多位研究人员参加,起止时间为1992年6月至1996年12月,历时4年半,总资助经费365万元。

经过全体研究人员的共同努力,项目全面完成了预定目标,在造山带理论和实践、大陆动力学探索研究及地质、地球化学与地球物理的结合上都取得了丰硕的研究成果,获得了许多重要新发现和新进展,积累了大批高质量的科学资料,填补了秦岭研究中的某些空白。截止1996年8月,课题组在国内外学术刊物上和学术会议上共发表论文234篇,其中在国外杂志上发表论文14篇,由《中国科学》、《岩石学报》先后出版专辑5部,由科学出版社出版了《秦岭造山带大地构造、地球化学与地球物理断面图丛》(中、英文版),受到国内外地质学界的高度重视和评价。预计1997年还将先后完成并出版专著4部。该项目还进行了广泛的国际合作研究与学术交流,先后与美、英、德、加、意、俄、日等多国合作进行秦岭造山带与世界主要造山带对比研究。同时,还培养了博士后7名,博士生17名,硕士生21名,锻炼培养了一批高层次的年轻科学研究人才。

项目的结题验收评议会由国家自然科学基金委组织,邀请了国内10位著名专家学者及项目有关代表50余人参加了评审验收。专家评议一致认为,该项目取得了重要的突破性进展,是我国造山带研究的最新重要理论成果,其研究水平为国际先进水平。

(隆平 姚安平)