Astronomy and Astrophysics 天文与天体物理, **2019, 7(3), 65-70**
Published Online July 2019 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/aas
https://doi.org/10.12677/aas.2019.73007

Probe into the Inflationary Mechanism of Cosmos Space

Yushan Li

Xingtai Lide Machinery Roll Manufacturing Co., Ltd., Xingtai Hebei
Email: xtzglys@163.com

Received: June 26th, 2019; accepted: July 11th, 2019; published: July 18th, 2019

Abstract

This thesis details inferred "Planck size", "the entropy of Blank-hole" and "the radiation temperature of Blank-hole" formula; studied the question of radiation of Blank-hole and probed into the inflationary mechanism of cosmos space.

Keywords

Cosmos Big-Bang, the Inflationary of Cosmos Space, Planck Size, Planck Black-Hole, the Entropy of Blank-Hole, the Radiation of Blank-Hole

宇宙空间暴胀机制探讨

李宇山

邢台利德机械轧辊制造有限公司，河北 邢台
Email: xtzglys@163.com

收稿日期：2019年6月26日；录用日期：2019年7月11日；发布日期：2019年7月18日

摘　要

本文详尽推导了“普朗克尺度”、“黑洞的熵”及“黑洞的辐射温度”公式，研究了黑洞的辐射问题，探讨了宇宙空间的暴胀机制。

关键词

宇宙大爆炸，宇宙空间暴胀，普朗克尺度，普朗克黑洞，黑洞的熵，黑洞辐射

文章引用: 李宇山. 宇宙空间暴胀机制探讨[J]. 天文与天体物理, 2019, 7(3): 65-70.
DOI: 10.12677/aas.2019.73007

1. 文章中用到的常数

光速(c)——2.998×10^{8} (m/s)；
普朗克常数(h)——6.63×10^{-34} (J/s)；约化了的普朗克常数($h/2\pi$)；
引力常数(G)——6.67×10^{-11} (N·m^2/kg^2)；
玻尔兹曼常数(k_B)——1.38×10^{-23} (J/K)；
摩尔气体常数(R)——8.31 (J/mol·K)；
阿伏加德罗常数(N_0)——6.022×10^{23} (1/mol)；
圆周率(π)——3.1415926；
自然常数(e)——2.71828。

目前普遍认为，宇宙起始于约 138 亿年前的大爆炸，大爆炸之后的宇宙空间有一个急速膨胀的暴胀过程。本文拟对宇宙空间的暴胀机制做一粗浅探讨。

2. 普朗克尺度、普朗克黑洞

我们知道，要精准确定粒子的位置，就要尽量增加入射光的频率。当光的频率增加到一定程度，亦即光的能量密度达到一定程度时(只有宇宙大爆炸时具备这种能量密度)，光子一碰到粒子就变成了黑洞，这将没有任何信息可以传出。这一光线的波长尺度称为普朗克尺度，讨论普朗克尺度以下的尺度是没有意义的。因此，普朗克尺度也就是空间的最小尺度。

这里将史瓦西半径等于普朗克尺度的黑洞称为普朗克黑洞。

设普朗克尺度为 L_P，那么普朗克尺度光的波长就等于 L_P。根据普朗克尺度的物理意义，普朗克黑洞的史瓦西半径：

$$L_P = 2Gm_P/c^2 \tag{1}$$

m_p——普朗克黑洞的质量。

取普朗克黑洞半径的不确定量为 Δr；形成普朗克黑洞的光子的动量不确定量为 Δp。根据“不确定性原理”则有：

$$\Delta r \Delta p = h/2\pi$$

如将 Δp 取最大值，即这光的全部动量值 m_Pc，则 Δr 就是最小值波长 L_P，故有：

$$L_P m_P c = h/2\pi \tag{2}$$

(1) × (2)得：$L_P^2 = 2Gh/2\pi c^3 = Gh/\pi c^3$

$$L_P = \left(Gh/\pi c^3\right)^{1/2}$$

将各常数代入得：$L_P = 2.284 \times 10^{-35}\,(\mathrm{m})$

光通过普朗克尺度所需时间称为普朗克时间，约为 10^{-43} 秒。

由(1)解得普朗克黑洞的质量 $m_P = L_P c^2/2G = (ch/\pi G)^{1/2}/2$

将各常数代入得：$m_P = 1.54 \times 10^{-8}\,(\mathrm{kg})$

3. 黑洞的熵及黑洞的辐射温度与辐射

3.1. 黑洞熵公式的推导

由于黑洞的表面积有只增不减之特性(霍金面积不减定理)，这与熵的性质相同。因此不难想到二者成某种正比例关系。

设黑洞的熵为 S；史瓦西半径为 R_B；表面积为 A，则有：$S \propto A$；不妨设：

$$S = nA \quad (n \text{ 为比例常数})$$

又根据玻尔兹曼公式得：$S = k\log w$ (w 为系统的微观状态数)。

对于普朗克黑洞有：

$$S_P = k\log w_P = nA_P \tag{3}$$

(S_P、w_P、A_P 分别为普朗克黑洞的熵、微观状态数和表面积)。

(3)中对数的底数取 w_P 时，$\log w_P = 1$，$k = nA_P$，$n = k/A_P$

由于 $A_P = 4\pi L_P^2 = 4Gh/c^3$ 故 $n = kc^3/4Gh$ 所以

$$S = nA = Akc^3/4Gh \tag{4}$$

由于史瓦西半径 $R_B = 2Gm/c^2$，黑洞的表面积 $A = 4\pi R_B^2 = 16\pi G^2 m^2/c^4$；代入(4)得：

$$S = 4\pi kGm^2/ch \quad (m \text{ 为黑洞的质量}) \tag{5}$$

下面讨论黑洞熵公式中所引入的玻尔兹曼常数 k 与自然对数条件下：

($S = k_B \ln w$)玻尔兹曼常数 k_B 之关系。

在推导黑洞熵公式时，由于做了特殊处理，使得 $\log w_P = 1$，根据(3)有 $S_P = k$，即玻尔兹曼常数 k 代表普朗克黑洞的熵。普朗克黑洞形成过程中的能量交换全部形成了普朗克黑洞的内能，所以根据熵的定义有：

$$k = m_P c^2/T_P \tag{6}$$

其中 mc^2 与 T_P 分别为普朗克黑洞的内能和温度。

宇宙从大爆炸奇点处开始，此时能量、温度均为无穷大。因为小于普朗克尺度和普朗克时间的时空没有意义，而大爆炸的能量密度又符合形成普朗克黑洞的条件。所以我们认为，如果将半径等于普朗克尺度的空间定义为普朗克空间，那么，可讨论的宇宙就是自普朗克时间产生了普朗克空间，同时又在普朗克空间中产生了普朗克黑洞的时刻开始的。此时的温度是普朗克温度。

宇宙的初始状态又可以看做是目前的宇宙系统经压缩而得到的，故可以运用研究系统问题的“分子运动论”和“热力学理论”对其进行分析。

根据分子运动论，理想气体状态方程可写成如下形式[1]：

$$PV = \left(NR/N_0\right)T$$

其中 P、V、T 分别为系统的压力、体积与温度；N 为分子数。由于 $k_B = R/N_0$，故有：

$$PV = Nk_B T \tag{7}$$

对普朗克黑洞应用(7)则有：

$$P_P V_P = Nk_B T_P$$

普朗克黑洞可视为只有一个分子的系统，故 $N = 1$ 则：

$$P_P V_P = k_B T_P$$

将热力学第一定律应用于普朗克黑洞得[1]：

$$Q = m_P c^2 + P_P V_P$$

普朗克黑洞形成过程是一个绝热过程，$Q = 0$；普朗克黑洞的形成是外界作功之结果，此过程不对外作功。故 $P_P V_P$ 取负值。所以有：

$m_P c^2 - P_P V_P = 0$；$P_P V_P = m_P c^2$

于是：$k_B T_P = m_P c^2$

那么：$k_B = m_P c^2 / T_P$ (8)

比较(6)、(8)两式可得：$k = k_B$；于是得：$w_P = \mathrm{e}$（自然数）。

这表明黑洞熵公式中的 k 就是 k_B，并且自然数 e 是普朗克黑洞的微观状态数。

3.2. 黑洞的辐射温度

由熵公式的微分形式 $\mathrm{d}S = \mathrm{d}Q/T$ 得：$T = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}S$；对于黑洞辐射温度 T_B 则有：

$$T_B = \mathrm{d}Q/\mathrm{d}S = \mathrm{d}\left(mc^2\right)/\mathrm{d}S = c^2\mathrm{d}m/\mathrm{d}S$$

$$T_B = c^2/\left(\mathrm{d}S/\mathrm{d}m\right)$$

根据(5)式得：$\mathrm{d}S/\mathrm{d}m = \mathrm{d}\left(4\pi kGm^2/ch\right)/\mathrm{d}m = 8\pi kGm/ch$

所以黑洞的辐射温度：

$$T_B = c^2/\left(8\pi kGm/ch\right)$$

$$T_B = c^3 h/8\pi kGm \tag{9}$$

由(8)式得普朗克黑洞的辐射温度为：

$$T_P = m_P c^2/k_B$$

将数值代入得：$T_P = 10^{32}\left(\mathrm{K}\right)$

这一温度也称为普朗克温度。

3.3. 黑洞的辐射(霍金辐射)

由于量子效应，空间存在着量子涨落，即瞬间产生正能量粒子和负能量反粒子对并瞬间互相湮灭的现象。

对于负能量的反粒子来说，黑洞相当于一个很陡的正能量势阱。粒子—反粒子对在黑洞边界上产生时，负能量反粒子必然落入黑洞，而正能量的粒子要么一同落入黑洞(这种情况相当于粒子—反粒子对互相湮灭)，要么飞向无限远处(落入负能量势阱)与反粒子落入黑洞的事件相抵消。这就相当于黑洞辐射了粒子。

当外界温度高于黑洞辐射温度时，其吸收的能量比辐射的能量多，黑洞逐渐长大，温度随之降低；当外界温度低于黑洞辐射温度时，其吸收的能量比辐射的能量少，黑洞逐渐缩小，温度随之升高并最终剧烈蒸发殆尽(爆炸)。

其它大质量天体(如恒星、白矮星、中子星)对于负能量反粒子来说也相当于一个正能量势阱，但其陡度不够。由于粒子－反粒子对互相湮灭的速度近于光速，这一陡度不足以使反粒子在湮灭前落入其中。

4. 宇宙空间暴胀机制

前已述及，宇宙大爆炸后，于普朗克时间(10^{-43} 秒)形成了普朗克空间，同时在普朗克空间内形成了

普朗克黑洞。根据这些条件可推测，这之后空间以绝热膨胀的形式扩张，而黑洞则以从空间吸收能量的方式长大，起始温度均为普朗克温度[10^{32}(K)]。这一过程有两种可能的发展模式：

第一种，二者以等温方式同步膨胀。

空间绝热膨胀应满足[1]：

$$V^{r-1}T = \text{衡量}$$

其中：V 表示体积；T 代表温度；r 为比热容比。$r=(i+2)/i$；i 为自由度，这里取 $i=3$，故 $r-1=2/3$。

设空间半径为 R_S；空间温度为 T_S

则有：$\left(4\pi R_S^3\right)^{2/3} T_S = \left(4\pi L_P^3\right)^{2/3} T_P$，$R_S^2 T_S = L_P^2 T_P$

$$T_S = \left(L_P/R_P\right)^2 T_P$$

设黑洞史瓦西半径为 R_B，则：$R_B = 2Gm/c^2$，$m = c^2 R_B/2G$，又根据⑧有：$k = m_P c^2/T_P$ 且：$m_P = c^2 L_P/2G$

代入(9)并整理得黑洞温度：

$$T_B = \left(Gh/2\pi c^3 L_P R_B\right) T_P$$

因为：$L_P = \left(Gh/\pi c^3\right)^{1/2}$

所以：$T_B = \left(L_P/2R_B\right) T_P$ (11)

设 $R_S = abL_P$；$R_B = bL_P$ (a、b 为系数，取正数)于是根据(10)、(11)有：

$$T_S = \left(1/ab\right)^2 T_P,\ T_B = \left(1/2b\right) T_P$$

由于空间与黑洞以等温方式同步膨胀，故有：$T_S = T_B$

亦即：$\left(1/ab\right)^2 T_P = \left(1/2b\right) T_P$，$a^2 = 2/b$

讨论：1) 当 $b<2$ 时，$a>1$，$R_S > R_B$ 空间半径大于黑洞半径；

2) 当 $b=2$ 时，$a=1$，$R_S = R_B = 2L_P$ 空间半径与黑洞半径相等；

3) 当 $b>2$ 时，$a<1$，$R_S < R_B$ 空间半径小于黑洞半径。

1) 表示空间与黑洞等温同步膨胀，空间半径始终大于黑洞半径；

2) 表示空间与黑洞同步膨胀至半径均等于二倍的普朗克尺度，此时的温度为：$T_B = T_P/4$；

3) 表示如果继续膨胀，黑洞的半径将比空间的半径要大，温度也要比空间的温度高。然而这种情况是不可能发生的，此刻黑洞将会以霍金辐射的方式剧烈蒸发，从而致使空间以爆发式增长，即发生暴胀。

在宇宙的初始阶段，空间尚不存在基本粒子，但却存在能量涨落效应。黑洞凭借能量涨落而发生剧烈蒸发。

第二种，二者以等径方式同步膨胀($R_S = R_B$)。

至(11)式以上推导过程与第一种相同。

设 $R_S = R_B = aL_P$ (a 为系数，取正数) 于是根据(10)、(11)分别有：

$$T_S = \left(L_P/R_S\right)^2 T_P = T_P/a^2 \quad (12)$$

$$T_B = \left(L_P/2R_B\right) T_P = T_P/2a \quad (13)$$

(12)/(13)得：$T_S/T_B = 2/a$。

讨论：1) 当 $a<2$，$R_S = R_B < 2L_P$ 时，$T_S > T_B$，空间温度高于黑洞温度；

2) 当 $a=2$，$R_S = R_B = 2L_P$ 时，$T_S = T_B$，空间温度与黑洞温度相等；

3) 当 $a>2$，$R_S=R_B>2L_P$ 时，$T_S<T_B$，空间温度低于黑洞温度。

(1)、(2)两种情况说明，空间与黑洞等径膨胀直至 $R_S=R_B=2L_P$；

(3)表明，如果继续膨胀，空间温度将低于黑洞温度，此刻黑洞将会以霍金辐射的方式剧烈蒸发，从而使空间的爆发式增长，以至发生暴胀。

两种发展模式都证明，当空间与黑洞半径增长至二倍普朗克尺度时，黑洞的剧烈蒸发导致宇宙空间发生暴胀。

5. 结论

1) 普朗克尺度 $L_P=\left(Gh/\pi c^3\right)^{1/2}$。

2) 黑洞的熵 $S=Akc^3/4Gh=4\pi kGm^2/ch$，其中的玻尔兹曼常数 k 就是自然对数条件下($S=k_B\ln w$)的玻尔兹曼常数 k_B；黑洞的辐射温度 $T_B=c^3h/8\pi kGm$。

3) 普朗克黑洞的熵等于自然对数条件下的玻尔兹曼常数，即 $S_P=k_B$；普朗克黑洞的微观状态数等于自然数，即 $w_P=\mathrm{e}$。

4) 黑洞可通过空间的量子涨落而产生辐射。

5) 宇宙原始空间与黑洞的相互作用使空间发生暴胀。

参考文献

[1] 程守洙, 江之永, 主编. 普通物理学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978.