

可以作为宇宙结构特征的作用量 $\hbar^{(n)}$

——天文系统的角动量、质量和两者的关系

刘永镇 邓祖淦

(中国科学技术大学研究生院, 北京)

曹盛林

(北京师范大学天文系)

摘 要

通过一般的理论考虑, 本文得到了可以作为特征物质在宇宙中各种典型尺度 n 上的行为作用量子 $\hbar^{(n)} = (Gm_a^2/e^2)^{\frac{n-6}{2}} \hbar$, 其中 \hbar , G , e 和 m_a 分别是 Planck 作用量子、引力常数、基本电荷和基本粒子的有效质量, n 是尺度参数. 由此进一步得到了可与观测比较的、各种天文系统的特征角动量谱 $J^{(n)} = \hbar^{(n)}$ 、质量谱 $M^{(n)} = (\hbar^{(n)} C \alpha / G)^{1/2}$ 和两者的关系 $J^{(n)} / (M^{(n)})^2 \simeq G / C \alpha$, 其中 C 是光速、 α 是精细结构常数.

一、引 言

早在三十年代, Dirac 就已注意到在微观物理量与宇宙学量之间存在着一定的联系^[1], 他发现的一个典型的关系, 是电子和质子之间的引力和静电力之比与微观尺度和宇宙尺度之比有接近相同的数量级, 即

$$Gm_e m_p / e^2 \sim l_a / l_c \quad (1)$$

其中宇宙尺度 l_c 通常取 Hubble 距离

$$l_c = C / H_0 \quad (2)$$

作为微观尺度 l_a , 可以取经典电子半径 $e^2 / m_e C^2$ 或 Compton 波长 $\hbar / m_e C$; 但如取 l_a 为两者的几何平均值

$$l_a = (e^2 / m_e C^2 \cdot \hbar / m_e C)^{1/2} = c / m_e \cdot (\hbar / C^3)^{1/2}, \quad (3)$$

则 (1) 式两端的数值将更接近一致.

由于 Dirac 关系仅由出现在基本物理定律中的基本常数组成, 因此它很可能反映着物质在微观尺度上的行为与宇宙尺度上的行为的某种内在联系. 对于 Dirac 关系的这种可能的解释, 使我们有可能利用一个广义的 Mach 原理来进一步理解已观测的宇宙结构的特征. 这个广义的 Mach 原理可叙述为: 宇宙中物质在任一局部尺度上的行为与宇宙尺度上的行为有关.

事实上,微观尺度仅是组成宇宙中各种层次的尺度中的一个,因此由 Dirac 关系和广义的 Mach 原理,我们就有可能找出任一典型尺度上与宇宙尺度上物质行为之间的关系. 为此,关键的问题是要选择一个可以描写各种尺度上物质行为的基本物理量. 在微观尺度上,物质运动规律的特征是以 Planck 作用量 \hbar 为特征量的量子化. 因此,选择作用量为描写各种尺度上物质行为的基本物理量是最值得赏试的.

在本文中,我们将首先以上述考虑为基础来找出可以作为宇宙结构特征的作用量 $\hbar^{(n)}$: 这些作用量仅由基本物理常数和尺度参数 n 确定. 作为理论的结果,我们进一步得到了可与观测比较的、在自然界中的引力系统的特征角动量谱 $J^{(n)}$ 和特征质量谱 $M^{(n)}$. 尤其是所得到的角动量-质量关系 $J^{(n)} = (G/C\alpha)(M^{(n)})^2$, 不仅关系 $J \propto M^2$, 而且比例因子 $(G/C\alpha) \simeq 3.05 \times 10^{-16} \text{ cm}^2/\text{s} \cdot \text{g}$ 都与 Brosche 首先得到的经验关系一致^[2,3].

二、关于宇宙结构特征的作用量 $\hbar^{(n)}$

首先我们将以 Dirac 关系和广义的 Mach 原理为基础,来建立一个可以作为宇宙结构特征的物理量——作用量的一般关系.

首先,把 Dirac 关系(1)式写成形式

$$Gm_a^2/c^2 = \frac{e}{m_a} \left(\frac{\hbar}{C^3} \right)^{1/2} \frac{C}{H_0}. \quad (4)$$

其中我们已用基本粒子的有效质量 m_a 代替(1)和(3)式中的电子质量 m_e 和质子质量 m_p , 由此可以用等号“=”代替(1)式中的近似号“ \sim ”. 使用有效质量的合理性是由(4)式所求出的值

$$m_a = e/G^{1/2} \cdot \left(\frac{\hbar}{GH_0^2} \right)^{1/6} \simeq 1.412 \times 10^{-26} \text{ g}, \quad (5)$$

正好在质量 m_e 和 m_p 之间,而且接近等于两者的几何平均值. 本文中取 Hubble 常数为:

$$H_0 = 100 \text{ km/s} \cdot \text{mpc} = 3.241 \times 10^{-18} 1/\text{s}. \quad (6)$$

假如再定义两个新的物理量:

$$m_g \equiv e/G^{1/2} \simeq 1.859 \times 10^{-6} \text{ g} \quad (7)$$

和

$$\hbar^{(0)} \equiv \frac{1}{2\pi} C^3/GH_0^2 \simeq 5.499 \times 10^{93} \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}, \quad (8)$$

则可以把(4)和(5)式改写成非常简洁而又特别重要的新的形式:

$$\hbar = (m_a/m_g)^6 \hbar^{(0)}. \quad (9)$$

由(8)式所定义的 $\hbar^{(0)}$, 仅由与宇宙学有关的基本常数 C , G 和 H_0 组成, 且具有作用量的量纲, 因此我们称它为“宇宙的作用量”. 由(7)式所定义的质量 m_g , 可以通过以下形式的讨论来了解其意义. 如果在微观尺度上可能有质量 $m \sim m_g$ 的粒子, 那么在这样的粒子之间的引力相互作用的无量纲强度 $Gm^2/\hbar C$, 就大到电磁相互作用的无量纲强度 $e^2/\hbar C = \alpha$ 的数量级, 因为由(7)式

$$Gm_g^2/\hbar C = \alpha. \quad (10)$$

这就是说,对于由质量 $m \sim m_g$ 的“粒子”所构成的微观“系统”, 引力相互作用就像通常原子中

的电磁相互作用一样地重要. 例如, 对于这样的“系统”, 人们将有可能观测到以作用量 \hbar 为特征的、与引力相互作用有关的量子效应. 实际上, 由于在自然界中已知的基本粒子的质量 $m_a \ll m_g$, 人们在微观尺度的系统中仅观测到与电磁相互作用 (或其它足够强的相互作用) 有关的量子现象, 而很难观测到与引力相互作用有关的现象. 但是, 以上的讨论说明, 质量 m_g 可以作为微观尺度上的引力系统的特征质量.

在微观尺度上, 已观测的物质的最基本的行为, 是以 Planck 作用量子 \hbar 为特征量的量子现象. 因此, 新的关系 (9) 式的重要意义在于它定量地给出了微观尺度上特征物质行为的作用量 \hbar 与宇宙尺度上的作用量 $\hbar^{(0)}$ 之间的关系.

关系 (9) 式的一个最引人注目的特点, 是其比例因子为无量纲量

$$m_a/m_g = (Gm_a^2/e^2)^{1/2} \simeq 7.594 \times 10^{-21} \quad (11)$$

的 6 次幂. 无量纲量 m_a/m_g 有明显的物理意义, 因为它由组成宇宙中所有物质系统的基本粒子的“引力荷” ($G^{1/2}m_a$) 和基本电荷 e 之比构成. 它是仅与已知的长程相互作用有关的一个普适的无量纲量. 但是, 为什么 (9) 式中的比例因子正好是这个无量纲量的 6 次幂, 而不是其它的整数或半整数次幂呢? 这个问题引起我们去考虑更一般的情形.

考虑到 (9) 式是在微观尺度 (宇宙中目前已认识到的一个典型尺度) 上特征物质行为的作用量和宇宙作用量之间的一个关系, 因此, 根据广义的 Mach 原理可以设想, 在宇宙中的另外一些尺度上可能存在类似的特征作用量. 这些作用量与宇宙作用量 $\hbar^{(0)}$ 之间也可能有类似于 (9) 式的关系, 所不同的仅是比例因子为无量纲量 m_a/m_g 的幂次不同. 基于这个考虑, 我们推广 (9) 式作出如下的一般假设 A:

假设 A. 宇宙中存在着一系列典型的局部尺度, 在一个典型尺度 n 上物质以作用量 $\hbar^{(n)}$ 为特征的行为与宇宙尺度上物质以作用量 $\hbar^{(0)}$ 为特征的行为有关, 在 $\hbar^{(n)}$ 与 $\hbar^{(0)}$ 之间满足关系

$$\hbar^{(n)} = (m_a/m_g)^n \hbar^{(0)}, \quad 6 \geq n \geq 0, \quad (12)$$

尺度参数 n 取整数或半整数.

在 (12) 式中, 当 $n = 0$ 时对应于宇宙尺度, 作用量 $\hbar^{(0)} = C^5/2\pi GH_0^2$ 由 (8) 式定义; 而当 $n = 6$ 时, 对应于微观尺度, 作用量 $\hbar^{(6)} = \hbar$, (12) 式成为 (9) 式. 因此, 当 n 取大于 0, 小于 6 的某些整数 (或半整数) 值时, 作用量 $\hbar^{(n)}$ 可能在宇宙尺度和微观尺度之间的某些典型尺度上是有物理意义的. 显然, 由 (5), (7), (8) 和 (12) 式, 每个作用量 $\hbar^{(n)}$ 的数值仅由基本常数 (C, \hbar, H_0, e 和 G 中的 4 个) 及尺度参数 n 确定.

这里要特别指出, 在同样满足一般关系式 (12) 的所有可能有物理意义的作用量 $\hbar^{(n)}$ 中, 已知 $\hbar^{(6)} = \hbar$ (Planck 作用量子) 具有量子的意义. 因此, 其它 $n \neq 6$ 的作用量 $\hbar^{(n)}$, 也可能在一定程度上具有量子的意义. 这是由假设 A 所得到的一个新的观念, 也是需要加以检验的.

三、天文系统的特征角动量谱、质量谱和角动量-质量关系

在微观尺度上, 物质系统的角动量是量子化的. 因此, 对于角动量不为零的系统, 可以取 Planck 作用量子 $\hbar = \hbar^{(6)}$ 作为它们的特征角动量 $J^{(6)}$. 按照上节中的讨论, 质量

$$m_g = (\hbar C \alpha / G)^{1/2} \quad (13)$$

(见 (7) 或 (10) 式) 可以作为微观尺度上的引力系统的特征质量.

对于我们来说, 微观尺度仅是宇宙中的一个典型尺度——尺度参数 $n = 6$ 和作用量 $\hbar^{(6)} =$

\hbar 的特殊情形。因此,如果满足一般关系 (12) 式的一个作用量 $\hbar^{(n)}$, 在尺度 n 上有实际的物理意义,那么在尺度 n 上的引力系统的角动量和质量就应该是下面所定义的特征角动量 $J^{(n)}$ 和特征质量 $M^{(n)}$ 的数量级:

$$J^{(n)} = \hbar^{(n)} \tag{14}$$

和

$$M^{(n)} = (\hbar^{(n)} C \alpha / G)^{1/2}, \quad 6 \geq n \geq 0. \tag{15}$$

当 $n = 6$ 时, (15) 式成为 (13) 式, 即 $M^{(6)} = m_g$.

(14) 和 (15) 式是两个可由观测资料直接检验的结果, 它们给出了宇宙中各种可能观测到的引力系统(如天文系统)的角动量谱和质量谱。

联合 (14) 和 (15) 式, 可以立即得到宇宙中在各种尺度上的引力系统的特征角动量 $J^{(n)}$ 和特征质量 $M^{(n)}$ 之间的一个一般关系:

$$J^{(n)} = (G/C\alpha)(M^{(n)})^2, \tag{16}$$

其中比例因子仅由基本常数确定

$$(G/C\alpha) = G\hbar/e^2 \simeq 3.05 \times 10^{-16} \text{cm}^2/\text{s}\cdot\text{g}. \tag{17}$$

这是一个可与观测比较的重要结果。它表明,宇宙中各种尺度上的引力系统(如已观测到的各种类型的天文系统)的角动量 J 和质量 M 之间近似地服从关系 $J \propto M^2$, 而且比例因子 J/M^2 近似地是 $G/C\alpha \sim 10^{-16} \text{cm}^2/\text{s}\cdot\text{g}$ 的数量级。

如果以上理论所预期的结果 ((14) — (16) 式) 是正确的, 那么在角动量、质量的对数图(即 $\log J - \log M$ 图)中应该明显地表现出来。就是说,假如把已由观测定出(或估计出)了角动量 J 和质量 M 的所有天文系统作为样品, 那么它们在 $\log J - \log M$ 图中的分布应明显地沿着一条

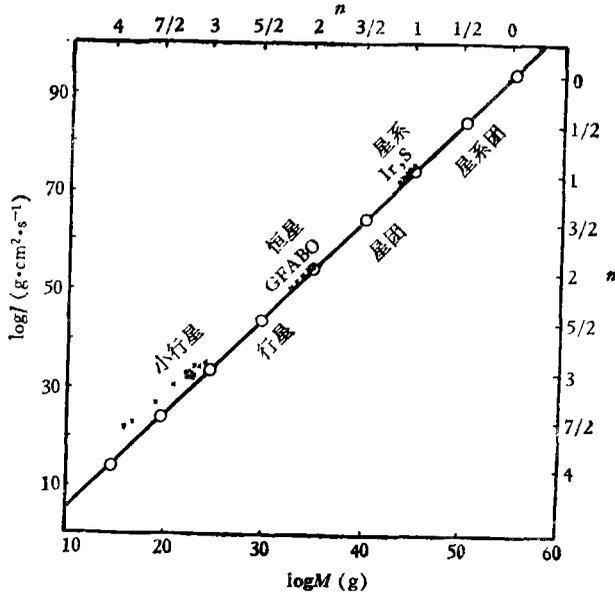


图1 $\log J - \log M$ 图

(按理论预期,所有已观测的天文系统在图中应沿直线 $\log J = 2\log M - 15.516$ 成群分布。图中星系的资料取自文献[4],恒星和小行星资料取自文献[5])

直线

$$\log J = 2 \log M + \log(G/C\alpha). \tag{18}$$

这条直线有确定的斜率 2 和截距

$$\log(G/C\alpha) \simeq -15.516. \tag{19}$$

而且，样品沿直线 (18) 式的分布应是明显成群的，每一群对应于宇宙中一个典型尺度 n 上的系统——第 n 群的特征角动量和质量为 $J^{(n)}$ 和 $M^{(n)}$ 。

在与观测资料比较之前，要再次强调指出，在我们的理论中，作用量 $\hbar^{(n)}$ ，从而可观测的引力系统的特征角动量谱 $J^{(n)}$ 、质量谱 $M^{(n)}$ ，仅仅由基本物理常数和尺度参数确定。在表 1 中，我们分别列出了尺度参数 n 取 0 到 7/2 之间的整数和半奇数值时，由 (12)，(14) 和 (15) 式所求出的 $\hbar^{(n)}$ ， $J^{(n)}$ 和 $M^{(n)}$ 的数值。理论所预期的角动量-质量关系 (16) 式给出在图 1 中 ($\log J - \log M$ 图)；图中直线按 (18) 式作出，圆圈对应于尺度参数 n 取整数和半奇数值时 ($J^{(n)}$ ， $M^{(n)}$) 在图上的位置。

表 1 作用量 $\hbar^{(n)}$ 、特征角动量 $J^{(n)}$ 和特征质量 $M^{(n)}$ 的数值
(由公式 (8)，(11)，(12)，(14) 和 (15) 式求得， n 取整数和半奇数 $0 \leq n \leq 7/2$)

n	0	1/2	1	3/2
$\hbar^{(n)}$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)	5.501×10^{93}	4.793×10^{83}	4.177×10^{73}	3.640×10^{63}
$J^{(n)}$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)	5.501×10^{73}	4.793×10^{63}	4.177×10^{53}	3.640×10^{43}
$M^{(n)}$ (g)	4.246×10^{24}	3.964×10^{19}	3.700×10^{14}	3.454×10^{9}
n	2	5/2	3	7/2
$\hbar^{(n)}$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)	3.172×10^{53}	2.764×10^{43}	2.409×10^{33}	2.099×10^{23}
$J^{(n)}$ ($\text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$)	3.172×10^{33}	2.764×10^{23}	2.409×10^{13}	2.099×10^{3}
$M^{(n)}$ (g)	3.224×10^{34}	3.009×10^{29}	2.809×10^{24}	2.623×10^{19}

四、理论与观测比较

现在，天文学中已经有大量的各种类型的天文系统（从小行星级的天体直到星系团）的有关角动量和质量的资料。它们可以被利用来检验前节中理论所预期的结果。

为了说明观测与理论结果一致，作为例子，在图 1 中已分别表示出星系（按型态）分布的范围（资料取自文献 [4]，不包括椭圆星系）和恒星（按谱型）分布的范围（资料取自文献 [5]）。在图也表示出熟知的小行星的位置（资料取自文献 [5]）。由图可见，三种非常不同的天体都沿着理论预期的直线 (18) 式分布（即近似地服从关系 $J \sim 10^{-16} M^2$ ）。星系和恒星正好分别集中在 $n = 1$ 和 2 的位置附近，而大多数小行星则分布在 $n = 3$ 的位置的附近。实际上，典型星系的角动量 J_G 和质量 M_G 正好是 $J^{(1)} \simeq 4.2 \times 10^{73} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 和 $M^{(1)} \simeq 1.9 \times 10^{11} M_\odot$ 的数量级；而典型

恒星(尤其是早型星)和双星系统的角动量 J 和质量 M 正好是 $J^{(2)} \simeq 3.2 \times 10^{53} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 和 $M^{(2)} \simeq 16M_{\odot}$ 的数量级. $J^{(3)} \simeq 2.4 \times 10^{33} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 和 $M^{(3)} \simeq 2.8 \times 10^{24} \text{g}$ 在几个量级的范围内与大的小行星的角动量 ($J_a \sim 10^{32} - 10^{35} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$) 和质量 ($M_a \sim 10^{22} - 10^{24} \text{g}$) 一致. 在我们的理论中, 这意味着可以把星系、恒星(包括双星)和较大的小行星分别看作是在宇宙中的典型尺度 $n = 1, n = 2$ 和 $n = 3$ 上的引力系统.

天文学中还有一些已观测到的引力系统: 星系团——超团、星团和太阳系的行星级的天体. 对于这些天体来说, 现在由观测资料所估计的角动量和质量比较弥散或很不确定. 但是, 一些初步的资料似乎提示着可以把它们依次看作是在尺度 $n = 1/2, 3/2$ 和 $5/2$ 上的系统. 例如, 对于球状星团, 由文献[5]中的资料所求出的平均角动量 $\bar{J} \sim 1.5 \times 10^{65} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 和质量 $\bar{M} \sim 3.9 \times 10^{39} \text{g}$ 与 $J^{(3/2)}$ 和 $M^{(3/2)}$ 有同样的数量级; 而几个较大的行星的自转角动量和质量大致为 $J^{(5/2)} \simeq 10^{43} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 和 $M^{(5/2)} \simeq 10^{29} \text{g}$ 的数量级.

在天体物理学中, 关于天文系统的角动量-质量关系的问题已经讨论了很多年. 通过对观测资料的分析, Brosche 首先得到了一个几乎对各种类型的天文系统都近似成立的、经验的关系 $J \propto M^{2[2]}$. 在稍后的工作中^[3], 他又估计出关系 $J \propto M^2$ 的比例因子大约为 $10^3 \times G/C$ 的数量(对于行星、双星、星团和星系等的资料), 即

$$J \sim (10^3 G/C) M^2. \quad (20)$$

显然, 我们的理论结果 $J^{(n)}/(M^{(n)})^2 = G/C\alpha$ 与他由观测资料所得到的(20)式非常好地一致.

对于角动量-质量关系的一些可能的理论解释, 已经提出(见文献[6], [7]及其中所引文献). 这里要特别提到的, 是 Wesson 所提出的自相似理论^[6]. 他假设所有可以由无量纲量 $\eta_1 = G\rho R^2/C^2$ 和 $\eta_2 = \omega R/C$ (其中 R, ρ 和 ω 分别是系统的大小、平均密度和角速度, G 和 C 是引力常数和光速) 表征的天文系统是自相似的. 对于各种不同的天文系统, 观测资料表明 $\eta_2/\eta_1 \sim 10^3$. 作为他的相似性考虑的结果, 所有自相似的天文系统的角动量和质量之间满足关系(见文献[6]中(3)式)

$$J = (3/10\pi \cdot \eta_2/\eta_1 \cdot G/C) M^2, \quad (21)$$

即 $J \propto M^2$. 他由观测资料所估计的比例因子大约为 $J/M^2 \sim 10^{-16}$ 的数量级. 我们的结果(16)式与 Wesson 的结果(21)式差别是: (a) 在(16)式中比例因子仅由基本常数确定, 而(21)式中 η_2/η_1 必须由观测资料估计. (b) 在(16)式中尺度参数 n 指示着各种不同尺度的天文系统, 而(21)式中没有包含这个内容.

最值得注意的是在文献[6]中 Wesson 所给出的小行星、行星、双星、星团、星系和星系团等天体, 在 $\log J - \log M$ 图中的分布(见文献[6]中图1), 这些天体明显地沿着一条直线(斜率为 1.9 ± 0.05) 分布. 他由观测资料所得到的这个结果正好与我们的理论结果一致.

在结束本节之前, 还要讨论一个重要的情形. 在我们的理论中, 尺度参数 $n = 0$ 对应于宇宙尺度, $\hbar^{(0)} = C^5/2\pi GH_0^2$ 是特征宇宙尺度上物质行为的作用量. 因此, 如果把视界内的整个范围作为宇宙尺度上的引力系统, 那么根据一般的结果(14)和(15)式, 这个系统的角动量 J_c 和质量 M_c 将可能是 $J^{(0)}$ 和 $M^{(0)}$ 的数量级, 即

$$J_c \sim \hbar^{(0)} = \frac{1}{2\pi} C^5/GH_0^2 \simeq 5.5 \times 10^{93} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s} \quad (22)$$

$$M_c \sim M^{(0)} = (\hbar^{(0)} C \alpha / G)^{1/2} \simeq 4.2 \times 10^{54} \text{g}, \quad (23)$$

由(23)式所给出的质量 $M_c \sim 4 \times 10^{54} \text{g}$ 看来与现在由观测资料所估计的一致. 例如, 假如取已观测的范围内星系物质的平均密度 $\bar{\rho}_g$ 作为宇宙的密度 $\rho_0 \sim \bar{\rho}_g \sim 10^{-30} \text{g/cm}^3$, 则视界内的总质量就正好是 10^{54}g 的数量级. 但是, 直到现在仍没有足够多的观测证据, 可以说明是否有由(22)式所预期的角动量 $J_c \sim \hbar^{(0)}$. 如果我们所作的理论考虑对宇宙尺度本身也是有意义的, 那么最终人们将会观测到由这个角动量 J_c 所引起的某些效应(例如, 由转动引起的非各向同性).

五、结 论

由 Dirac 关系(1)和广义的 Mach 原理, 我们得到了宇宙中各种典型尺度 n 上特征物质行为的作用量 $\hbar^{(n)}$. 在同样满足一般关系(12)的作用量中, 已知 $\hbar^{(6)} = \hbar$ 是 Planck 作用量子, 因此其它 $n \neq 6$ 的作用量也可能在一定程度上具有量子的意义. 借助于这些作用量子 $\hbar^{(n)}$, 进一步得到了可与观测比较的、各种天文系统的特征角动量谱 $J^{(n)}$ 、质量谱 $M^{(n)}$ 和两者的关系 $J^{(n)} = (G/C\alpha)(M^{(n)})^2$. 这些结果表明, 为了理解已观测的宇宙结构特征(天文学中所观测的一系列大小不同的、各种类型的天文系统), 作用量 $\hbar^{(n)}$ 具有特殊的意义.

最重要的事情是我们仅从简单的、一般的理论考虑(没有涉及任一具体模型)所得到的结果: 作用量子 $\hbar^{(n)}$, 以及在每个尺度 n 上的引力系统的特征角动量 $J^{(n)}$ 和特征质量 $M^{(n)}$ 可以由基本物理常数 \hbar, C, e, G 和 m_a (或 H_0) 以及尺度参数 n 来表示. $m_a \simeq 1.4 \times 10^{-26} \text{g}$ 是组成物质系统的基本粒子(主要是核子和电子)的有效质量, 它与 H_0 和其它常数的关系见(5)式. 此处我们用 \hbar, e, G 和 m_a 重新写出这些表达式:

作用量子(由(9),(11)和(12)式):

$$\hbar^{(n)} = (m_a/m_g)^n \hbar^{(0)} = (Gm_a^2/c^2)^{\frac{n-6}{2}} \hbar. \quad (24)$$

特征角动量(由(14)和(24)式):

$$J^{(n)} = \hbar^{(n)} = (Gm_a^2/c^2)^{\frac{n-6}{2}} \hbar. \quad (25)$$

特征质量(由(15)和(24)式):

$$M^{(n)} = (\hbar^{(n)} C \alpha / G)^{1/2} = (Gm_a^2/c^2)^{\frac{n-6}{4}} c / G^{1/2}. \quad (26)$$

这些表达式(24)—(26)明显地告诉我们, 已观测到的天文系统(从小行星级的天体直到星系团)的基本特征(如角动量和质量等), 可以被认为是由于基本粒子之间的引力相互作用(基本“引力荷”为 $G^{1/2}m_a$) 和电磁相互作用(基本电荷 e) 按照相对论(以光速 c 特征)和量子力学(以 Planck 作用量子 \hbar 特征)所产生的结果. 根据这一结果, 使我们有可能以现代物理学为基础去建立关于各种类型的天文系统的合理模型, 以及关于结构和演化的理论. 例如, 在我们的理论中, 恒星对应于尺度参数 $n = 2$ 的尺度上的天文系统, 其特征角动量和质量可表示为:

$$J^{(2)} = \hbar^{(2)} = (e^2/Gm_a^2)^2 \hbar$$

和

$$M^{(2)} = (e^2/Gm_a^2)(\hbar C \alpha / G)^{1/2} = \frac{1}{m_a^2} (\hbar C \alpha / G)^{3/2}.$$

因此, 一个合理的恒星模型(以相对论和量子力学为基础)所得到的角动量 J_i 和质量 M_i 的表

达式(如果可以由基本常数表示的话)应与 $J^{(2)}$ 和 $M^{(2)}$ 的形式相似, 即 $J_s \sim J^{(2)}$ 和 $M_s \sim M^{(2)}$.

在理论上, 作用量 $\hbar^{(n)}$ 的出现, 尤其是它们可能在一定程度上具有量子的意义, 这意味着对于现在的物理学理论需要补充某些新的观念. 由于作用量 $\hbar^{(n < 6)}$ 和 $\hbar^{(6)} = \hbar$ 满足同样的一般关系(12)式, 所以在大尺度的系统中, $\hbar^{(n < 6)}$ 所起的作用就很可能与 $\hbar^{(6)} = \hbar$ 在微观尺度的系统中所起的作用相似. 这就是说, 在某些大尺度的天文系统中(例如, 星系尺度的系统、恒星尺度的系统等等), 可能出现某些以作用量 $\hbar^{(n < 6)}$ 特征的不连续现象——在一定意义上, 这些不连续现象可称为“大尺度的量子效应”. 例如, 我们可以预期在星系或双星系的角动量分布中, 可能会出现一定的周期性, 周期长度应是 $\hbar^{(1)} \sim 4 \times 10^{73} \text{g} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ 的数量级. 在文献[8]中, 我们已经初步研究了星系尺度的系统(星系、双星系)和恒星尺度的系统(双星)中可能出现的大尺度的量子效应.

在与本文有关的工作中, 作者曾与周又元同志进行了很多有益的讨论, 特此感谢.

参 考 文 献

- [1] Dirac, P. A. M., *Nature*, **139** (1937), 323; *Proc. Roy. Soc. Lond.*, **A165**(1938), 198.
- [2] Brosche, P., *Astron. Nachr.*, **286**(1962), 241; *Z. Astrophys.*, **57**(1963), 143.
- [3] Brosche, P., *Astrophys. Space Sci.*, **29**(1974), L7.
- [4] 戴文赛等, *天文学报*, **1**(1978), 24.
- [8] Allen, C. W., *物理量和天体物理量*, 杨建译, 上海人民出版社.
- [6] Wesson, P. S., *Astro. Astrophys.*, **80**(1979), 296.
- [7] Fleck, R. C., *Astrophys. J.*, **261**(1982), 631.
- [8] 刘永镇等, *北京天文台台刊(副刊)*, **5**(1983), 52;56.