

中等银纬区逆康普顿 γ 射线强度*

张 力

(云南大学物理系 昆明 650091)

1994-08-29 收稿

摘 要

使用最近期的 EGRET/CGRO γ 射线数据, 确定出了中等银纬区 ($|b| = 10^\circ - 20^\circ$) 银河宇宙线与星际气体相互作用产生的 γ 射线的发射率 $q/4\pi$, 其中采用了由 γ 射线数据本身来确定该发射率的方法; 并由此获得了以银经为函数的不同能区的逆康普顿 (IC) γ 射线积分强度. 在该银纬区, 沿银经平均的 IC 微分强度可表为: $I_{IC}(E) = 1.58 \times 10^{-6} E^{-2.08 \pm 0.06} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \text{ GeV}^{-1}$, $b = 10^\circ - 20^\circ$; $I_{IC}(E) = 2.08 \times 10^{-6} E^{-2.03 \pm 0.06} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \text{ GeV}^{-1}$, $b = -20^\circ - -10^\circ$, 其中, 能量 E 的范围为 30MeV 到 4000MeV.

关键词 宇宙线, 宇宙 γ 射线, 逆康普顿散射.

1 引 言

在银河离散 γ 射线的三种主要的产生机制(宇宙线电子的韧致辐射和逆康普顿散射以及宇宙线核的 π^0 产生)中,逆康普顿散射对银河离散 γ 射线的贡献是十分重要的.然而,使用SAS II及COSB γ 射线天文卫星数据,人们给出的逆康普顿的贡献是相当不定的,可从5%到50%^[1].这样,逆康普顿 γ 射线的进一步研究是十分必要的,并且近期的高精度、高质量的CGRO γ 天文卫星数据使该研究成为可能.

对逆康普顿 γ 射线的估计,理论上要求银河宇宙线电子的分布及星际辐射场的知识,但这两者都存在相当的不定性^[2,3].另一方面,为了与理论的估计进行比较,也可由实验上估计出逆康普顿 γ 射线强度.通常的做法是先从理论上估计出宇宙线电子的韧致辐射及宇宙线核的 π^0 产生导致的 γ 射线产生率,然后与实验观测到的星际氢的柱密度相乘,给出相应的 γ 射线强度,于是实验上逆康普顿 γ 射线强度由观测到的银河离散 γ 射线强度(即已减去了河外强度,通常认为是均匀的^[4])减去理论上估计的上述 γ 射线强度获得.这种方法要求已知宇宙线粒子在星际空间分布的知识,然而,目前对此知之甚少.

本文给出了用观测到的 γ 射线强度本身来估计观测到的逆康普顿 γ 射线强度的方法.并基于此方法,使用最近期的CGRO天文卫星数据,给出中等银纬区 ($|b| = 10^\circ - 20^\circ$) 中逆康普顿 γ 射线强度的实验上的新估计,并讨论宇宙线粒子在星际空间中的分布.

* 云南省科委应用基础研究基金资助.

2 γ 射线数据的分析

所使用的 γ 射线数据取自 γ 射线天文台 CGRO 库的第一阶段的 EGRET 数据. 该数据由 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 角坪中不同能区的光子计数及曝光量组成. 每个能区的 γ 射线强度可由相应能区的计数和曝光量相除后获得. 在这里的分析中, 对 $|b| = 10^\circ - 20^\circ$ 区, 每个能区的计数及曝光量沿银经 l 分为 18 个坪, 相应能区的 γ 射线强度由计数与曝光量相除获得.

2.1 银河离散 γ 射线强度

观测到的 γ 射线强度由河内和河外分量组成, 其中河内分量主要由宇宙线粒子与星际氢气体及星际辐射场的相互作用产生. 河外分量的起源仍不定, 但使用星际氢气体的信息, 可把河内和河外分量分离开且获得河外离散 γ 强度的估计^[5].

观测到的离散 γ 强度为

$$I_\gamma(l, b) = \frac{q}{4\pi} NH(l, b) + I_{IC}(l, b) + I_{EG}, \quad (1)$$

其中, $\frac{q}{4\pi}$ 为宇宙线粒子与星际氢相互作用 (宇宙线电子的韧致辐射, 宇宙线核的 π^0 产生, 随后 π^0 衰变成两个光子) 的 γ 射线发射率; $NH(l, b)$ 为星际氢气体的柱密度; $I_{IC}(l, b)$ 为逆康普顿 γ 射线强度; I_{EG} 为河外离散 γ 强度; l 和 b 分别表示银经和银纬. 银河离散 γ 射线强度等于 $(I_\gamma(l, b) - I_{EG})$.

由方程 (1) 知道, 若 $I_\gamma(l, b)$, $NH(l, b)$ 及 I_{EG} 已知, 则实验上估计 $I_{IC}(l, b)$ 的关键在于知道发射率 $\frac{q}{4\pi}$. 基于局部测量的宇宙线电子及质子的能谱, 可计算出 $\frac{q}{4\pi}$. 图 1 给出了基于文献 [6] 给出的 $\frac{q}{4\pi}$ 的表达式的结果. 由计算出的 $\frac{q}{4\pi}$ 以及方程

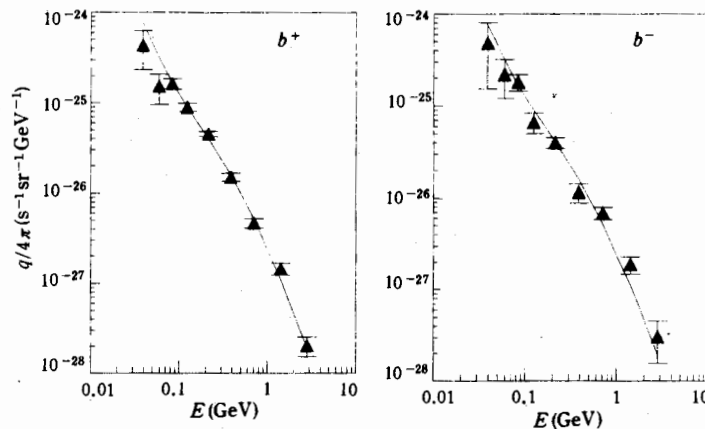


图 1 中等银纬区银河宇宙线与星际气体相互作用产生的 γ 射线发射率
其中 b^+ 表示 $b = 10^\circ - 20^\circ$ 区, b^- 表示 $b = -20^\circ - -10^\circ$ 区. 数据点为本文
所用方法给出的值, 实线为理论估计值.

(1), 就可获得 $I_{IC}(l, b)$ 的实验上的估计, 这正是通常的做法.

2.2 本文的分析方法

上述的通常做法中, 要求银河宇宙线的分布是均匀的, 这可能是一个好的近似, 但无疑是不大合理的. 事实上, 射电及 γ 天文数据表明宇宙线粒子的分布并不均匀^[7]. 所以, 我们寻求一种新的分析方法. 基于逆康普顿 γ 射线强度的理论估计^[1], 对一定银纬区, I_{IC} 关于银经 $l \approx 0^\circ$ 大致对称, 于是, 可以采用如下方法来估计逆康普顿 γ 射线强度.

首先, 对一定的银纬区, 给出 $\Delta I_\gamma = I_\gamma(l^+, b) - I_\gamma(l^-, b)$ 与 $\Delta NH = NH(l^+, b) - NH(l^-, b)$ 的关系, 然后由最小二乘拟合确定该银纬区中的平均发射率 $q/4\pi$. 其次由方程 (1) 给出随银经 l 变化的逆康普顿 γ 射线强度; 最后, 通过在银经 l 上加权平均, 获得给定能区和纬度区的平均的逆康普顿 γ 射线强度.

这种方法避免了理论上估计 $q/4\pi$, 并从观测到的 γ 射线强度本身来估计逆康普顿 γ 射线强度.

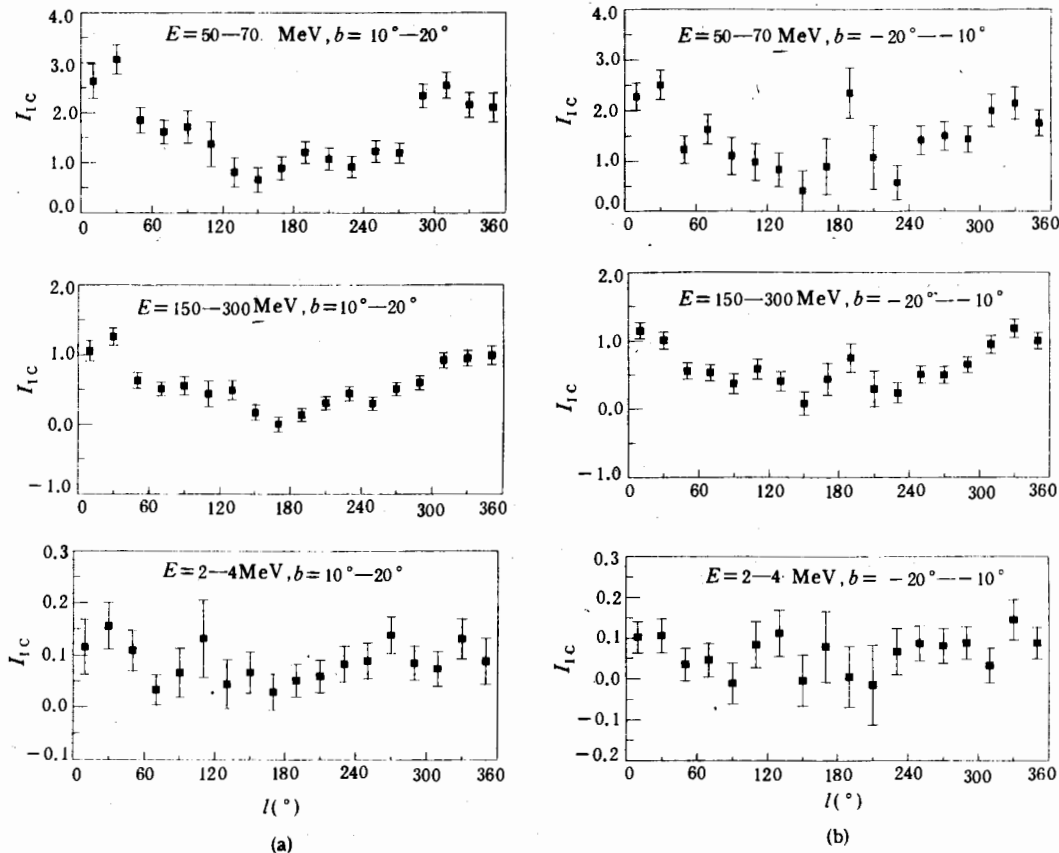


图 2 (a) $b = 10^\circ - 20^\circ$ 区中三个不同能区的以银经为函数的 IC 积分强度; (b) $b = -20^\circ - -10^\circ$ 区中三个不同能区的以银经为函数的 IC 积分强度

其中, 纵坐标轴为 IC 强度, 以 $10^{-5} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 为单位, 横坐标表示银经, 以 $(^\circ)$ 为单位.

3 分析结果及与理论估计的比较

分析中,除观测到的 γ 射线数据外,还涉及到星际氢的柱密度 $NH(l, b)$ 的分布. 星际氢主要包括氢原子及氢分子, 即 $NH(l, b) = NHI(l, b) + 2NH_2(l, b)$, 其中 $NHI(l, b)$ 为氢原子柱密度, 这里采用了文献[8]的值; $NH_2(l, b)$ 为氢分子柱密度, 这里使用了文献[9]的CO发射数据, 并取转换因子 $X=2$. I_{EG} 值取自文献[5].

对EGRET数据给出的十个能区($E=30-50, 50-70, 70-100, 100-150, 150-300, 300-500, 500-1000, 1000-2000, 2000-4000$ 及 >4000 MeV), 由于最后一个能区光子数不足, 故这里只考虑前九个能区. 由 ΔI_γ 与 ΔNH 的关系图, 分别确定出了 $|b|=10^\circ-20^\circ$ 区中不同能区的平均发射率 $q/4\pi$, 结果如图1所示. 可以看出, 由此定出的不同纬度区的 $q/4\pi$ 值存在一定的差异, 且与理论估计值相比, 也有一定差异.

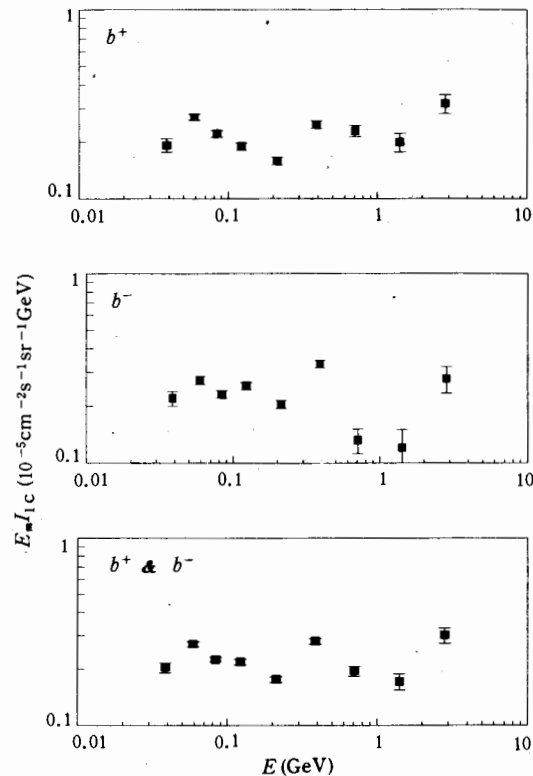


图3 以能量为函数的IC强度

其中 $E_m = E_1 E_2 / (E_2 - E_1)$, 图中有关标记见图1及文中所述.

把 $q/4\pi$ 值代入方程(1), 就可获得 $|b|=10^\circ-20^\circ$ 区中随银经变化的不同能区的IC积分强度值. 作为例子, 图2给出了 $E=50-70, 150-300$ 以及 $2000-4000$ MeV的IC积分强度值.

对所考虑的九个能区, 沿银经加权平均IC强度, 获得了 $b=10^\circ-20^\circ, -20^\circ-$

-10° 以及在两银纬区上平均的 IC γ 射线强度, 其结果如图 3 所示. 若用幂律来表示 IC 微分强度, 则对能区 $E = 30\text{MeV} - 4000\text{MeV}$, 有

$$I_{\text{IC}}(E) = 1.58 \times 10^{-6} E^{-2.08 \pm 0.06} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \text{GeV}^{-1}, \quad b = 10^\circ - 20^\circ, \quad (2)$$

及

$$I_{\text{IC}}(E) = 2.08 \times 10^{-6} E^{-2.03 \pm 0.06} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1} \text{GeV}^{-1}, \quad b = -20^\circ - -10^\circ, \quad (3)$$

其中, E 表示 γ 射线的能量. 上两式给出的 $I_{\text{IC}}(E)$ 对能量的依赖可与文献 [1] 理论估计的 $E^{-2.03}$ 相比.

4 讨 论

使用本文给出的方法, 由 EGRET 数据给出了中等银纬区 ($|b| = 10^\circ - 20^\circ$) 银河宇宙线与星际氢相互作用的宇宙 γ 射线的发射率 $q/4\pi$, 进而获得了该银纬区中逆康普顿 γ 射线强度. 由所获得的结果知, 不同纬度区平均发射率 $q/4\pi$ 及逆康普顿 γ 射线强度存在着一定的差异, 这表明产生这些 γ 射线的宇宙线粒子在空间中的分布应是不均匀的.

事实上, 使用早期的 SAS II 和 COSB γ 天文卫星数据, 人们已证实了随着反银心方向中距离的增加, 由 γ 射线数据导出的宇宙线强度减小, 即存在着银河宇宙线梯度 (如见文献 [10]). 另一方面, 银河宇宙线的分布也可从研究以经度为函数的 $q/4\pi$ 值获得, 宇宙线电子与质子之比可由 $I_\gamma (> 300\text{MeV})/I_\gamma (300\text{MeV} > E > 70\text{MeV})$ 的研究给出, 依 COSB γ 天文卫星数据, 我们^[10] 已指出宇宙线电子和质子之比以及宇宙线质子强度局部地随位置变化 (在离太阳 $\approx 1\text{kpc}$ 距离处). 显然, 使用 EGRET 数据来进一步研究这些问题是十分必要的.

参 考 文 献

- [1] Chi, X., et al., *J. Phys.*, **G:15** (1989) 1495.
- [2] Chi, X., Wolfendale, A. W., *J. Phys.*, **G:17** (1991) 987.
- [3] Bloemen J. B. G M., *Astron. Astrophys.*, **145** (1985) 391.
- [4] Fichtel C. E., Simpson G. A., Thompson D. J., *Astrophys. J.*, **222** (1978) 833.
- [5] Osborne J. L., Wolfendale A. W., Zhang L., *J. Phys.*, **G:20** (1994) 1089.
- [6] Bertsch D. L. et al., *Astrophys. J.*, **416** (1993) 583.
- [7] Wolfendale A. W., Zhang L., *J. Phys.*, **G:20** (1994) 935.
- [8] Osborne J. L., Wolfendale A. W., Zhang, L., **1994**, (in preparation).
- [9] Dame T. M., et al., *Astrophys. J.*, **322** (1987) 706.
- [10] Zhang L. et al., 1993, Proc. 2nd Compton GRO Symposium (in press).

Intensities of Inverse Compton Gamma-Rays in Galactic Medium Latitude

Zhang Li

(Physics Department, University of Yunnan, Kunming 650091)

Received 29 August 1994

Abstract

The gamma-ray emissivity $q/4\pi$ of galactic cosmic rays interacting with inter-stellar gases at medium-latitude ($|b| = 10^\circ - 20^\circ$) is determined by using recent EGRET data. Meanwhile the method to obtain the emissivity by gamma-ray data themselves is adopted, and then the inverse compton (IC) integral intensities as a function of galactic longitude are obtained. The differential IC intensities averaged over all galactic longitudes can be expressed by

$$I_{\text{IC}}(E) = 1.58 \times 10^{-6} E^{-2.08 \pm 0.06} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{ for } b = 10^\circ - 20^\circ$$

and

$$I_{\text{IC}}(E) = 2.08 \times 10^{-6} E^{-2.03 \pm 0.06} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{sr}^{-1} \text{ for } b = -20^\circ - -10^\circ,$$

where the energy range is from 30 MeV to 4 GeV.

Key words cosmic rays, cosmic gamma rays, inverse compton scattering.