

# 羊八井宇宙线强度观测数据的气压修正<sup>\*</sup>

唐云秋<sup>1</sup> 卢红<sup>1</sup> 乐贵明<sup>2</sup> 谭有恒<sup>1</sup> 张吉龙<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

<sup>2</sup>(中国科学院空间科学与应用研究中心)

## 摘 要

分析了羊八井宇宙线强度的气压修正, 分析表明, 气压修正不仅与气压有关, 而且与太阳活动有关. 太阳活动最高的年, 气压修正系数的绝对值最大. 此外, 计数率的修正值还与数据采样的时间间隔有关, 即使是同一时间段, 不同时间间隔采用率得到的修正值是不同的. 本文最后分析了西藏羊八井中子监测器观测数据的气压修正, 得到单路及八道多重计数的气压修正系数.

**关键词** 宇宙线; 中子堆; 太阳活动; 气压修正系数

## 1 引言

地球大气层以外的银河宇宙线称为初级宇宙线, 其主要成分是高能的质子, 其次是 $\alpha$ 粒子, 还有少量的重核. 研究表明, 银河宇宙线强度在行星际空间受到太阳活动强烈的调制, 初级宇宙线进入磁层, 最后到达地面之前会与大气相互作用, 产生一系列的次级成分, 这些次级成分有穿透本领很强的 $\mu$ 子, 也有穿透本领很弱的电子和光子, 还有大气中子和质子. 地面记录宇宙线强度的仪器——中子监测器是通过记录宇宙线的次级成分中子来反映宇宙线的强度, 而次级中子的数量跟大气的状况(温度, 压强)紧密相关. 地面宇宙线台站观测到的宇宙线强度随地球大气状态的变化而变化, 这种现象称为气象效应, 主要是由大气密度和厚度的变化而引起的, 它包含温度效应和气压效应. 同样的初级宇宙线强度, 由于大气状况的不同就可能造成地面观测到的宇宙线强度的不同. 而对中子成分来说, 主要考虑的仅是气压效应<sup>[1],[2]</sup>. 为了消除气压效应, 我们必须对观测数据进行气压修正.

考虑到地磁刚度对中子成分气压效应的影响, Dorman 引入了“部分气压系数”的概念<sup>[3]</sup>. 以 Roma 站为辅助参考台站, Dorman 采用三步近似计算了 ESO 站数据的气压修正系数<sup>[4]</sup>. Massetti 分析了 Oulu 站数据的气压修正, 认为太阳活动峰年时气压修正系数较小<sup>[5]</sup>. 一些文章也阐述了气压修正系数的周期问题, 认为气压修正系数有类似于太阳活动的 11 年周期, 其值在太阳活动极大时最小, 反之在太阳活动极小时最大<sup>[6],[7]</sup>. 本文分析了羊八井中子监测器的气压效应, 得到其单路及多重的气压修正系数.

---

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目资助 (10075055)

2003-09-09 收到原稿, 2004-02-18 收到修定稿

## 2 宇宙线强度的气压修正

1998 年中日合作在西藏羊八井 (30.11°N, 90.53°E, 海拔 4300 m, 垂直截止刚度 14.1 GV) 建成由 28 支 NM-64 型的中子管组成的中子监测器系统, 用于观测地面宇宙线强度的变化以及某些太阳活动产生的能够到达地面的高能太阳宇宙线的强度。

羊八井中子监测器采用 NM-64 型, 结构如图 1 所示, 由中心部分的中子计数管、外围的核作用产生体铅及中子减速介质组成。中心部分的正比计数管外壳由不锈钢构成, 内充压力 20 cm·Hg (20°C) 的  $\text{BF}_3$  气体, 外部包围了厚 5.1 cm 的铅, 在铅与计数管之间有一个厚 2 cm 的聚乙烯外壳作为中子减速介质。

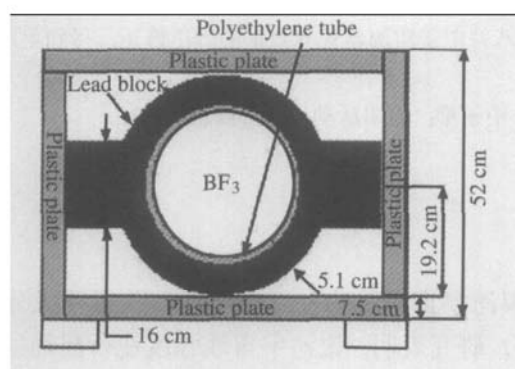
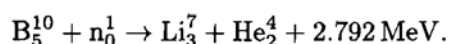


图 1 中子管剖面图

Fig.1 The profile chart of neutron monitor

当初级宇宙线进入大气层, 与大气核作用产生次级粒子, 其中一部分可到达地面, 它们在中子监测器的铅层中发生核作用, 产生荷电核碎片及中子, 其中的中子进入正比管时, 与 B 核发生如下反应。



反应释放的能量变成 He 核和 Li 的动能, 它们在管中运动并电离管内的中性原子产生电子和离子, 通过收集电子和离子的强度 (实际为一些脉冲) 来反映宇宙线的强度。记录的数据格式为二进制格式记录, 每秒记录一次, 每天的数据存为一个文件, 包含 86 400 个记录。每个记录由 256 个字节组成, 其中包含有效信息的只有 150 个字节, 包括开头部分的时间信息, 中间部分的单道计数及多重数为 1—8 的多重计数, 以及末尾部分的气压和温度的气象信息。

地面宇宙线强度的气压效应主要是由大气对宇宙线粒子的吸收而引起的, 随着气压增大, 大气物质增多, 对宇宙线粒子的吸收作用也越大, 因而导致宇宙线强度的减小。反之气压减小, 宇宙线强度增大, 即气压与中子监测器计数率存在反相关关系。

气压效应可用气压系数  $\beta$  来描述。而气压系数可表示为:  $\beta = \Delta \ln N / \Delta P$ , 令  $I = \ln N$ , 则

$$\beta = (I - I_0) / (P - P_0), \quad (1)$$

其中,  $N$  为中子监测器计数率,  $P$  为气压值.  $I_0$ 、 $P_0$  表示相应的平均值. 将式 (1) 表示为  $y_i = \beta x_i$ , 即  $y_i = I_i - I_0 = \ln N_i - (\ln N)_0$ ,  $x_i = P_i - P_0$ . 根据最小二乘法, 可以得到:

$$\beta = \frac{\sum_i (x_i y_i)}{\sum_i x_i^2}, \quad (2)$$

而  $y_i$  与  $x_i$  的相关系数为

$$r = \frac{\sum_i (x_i y_i)}{\sqrt{\sum_i x_i^2 \sum_i y_i^2}}. \quad (3)$$

根据上式, 统计 1998 年 10 月至 2002 年 8 月的数据 (其中个别月份数据缺失), 得到单路计数及多重计数的气压系数如表 1 所示, 如果对每年数据进行拟合, 得到的各通道气压系数列在表 2. 从表 2 可以看到, 无论是单通道还是多通道, 2000 年  $\beta$  值的绝对值都是最大. 选取太阳活动较为平静的 2002 年 6 月的观测数据进行分析, 计算得到 10 天、20 天、30 天的单路计数的气压修正系数如表 3 所示.

表 1 单路及多重计数的气压系数

Table 1 The barometric coefficients of single and multiplicity channels

| Channel | $\beta/(\%)$       | $r$    |
|---------|--------------------|--------|
| single  | $-0.597 \pm 0.003$ | -0.765 |
| M1      | $-0.436 \pm 0.003$ | -0.720 |
| M2      | $-0.625 \pm 0.003$ | -0.745 |
| M3      | $-0.711 \pm 0.004$ | -0.763 |
| M4      | $-0.764 \pm 0.004$ | -0.776 |
| M5      | $-0.800 \pm 0.004$ | -0.769 |
| M6      | $-0.809 \pm 0.005$ | -0.715 |
| M7      | $-0.720 \pm 0.006$ | -0.604 |
| M8      | $-0.867 \pm 0.005$ | -0.748 |

在以后的数据处理中使用拟合得到的气压修正系数对原始数据根据下式进行修正,  $P_0$  为计算气压修正系数时的平均气压值, 则有

$$N_{\text{corr}} = N_{\text{obs}} / e^{\beta(P-P_0)}.$$

图 2 显示的是中子监测器的气压修正系数.

图 3(a) 为 2002 年 6 月日平均计数率修正前后随时间的变化, 图 3(b) 为日平均气压值随时间的变化. 图 3(c) 为 6 月的小时平均计数率修正前后随时间的变化, 图 3(d) 则为小时的气压值随时间的变化. 图 3(e) 为 6 月的前 10 天的小时平均计数率修正前后随时间的变化, 图 3(f) 则为小时的气压值随时间的变化. 可以看到, 修正前后的计数率相差很大; 此外, 同样的时间间隔, 若选取数据的长度不同, 则修正后的数据也有差异, 如图 3(c) 的前 10 天和图 3(e) 的数据都是 6 月的前 10 天, 但相同时刻的数据略有差异.

表 2 逐年单路及多重计数的气压系数

Table 2 The barometric coefficients of single and multiplicity channels of every year

| year             | 1998 (10—12 月)        |        | 1999<br>(缺 2, 3, 12 月) |        | 2000<br>(缺 1, 3, 10 月) |        | 2001<br>(缺 5 月)       |        | 2002 (1—8 月)          |        |
|------------------|-----------------------|--------|------------------------|--------|------------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| $P_0/\text{hPa}$ | 602.25                |        | 598.93                 |        | 596.85                 |        | 596.74                |        | 596.18                |        |
|                  | $\beta/(\%)$          | $r$    | $\beta/(\%)$           | $r$    | $\beta/(\%)$           | $r$    | $\beta/(\%)$          | $r$    | $\beta/(\%)$          | $r$    |
| single           | -0.624<br>$\pm 0.005$ | -0.947 | -0.697<br>$\pm 0.005$  | -0.884 | -0.776<br>$\pm 0.007$  | -0.825 | -0.766<br>$\pm 0.005$ | -0.863 | -0.685<br>$\pm 0.007$ | -0.801 |
| M1               | -0.425<br>$\pm 0.004$ | -0.910 | -0.494<br>$\pm 0.004$  | -0.841 | -0.573<br>$\pm 0.006$  | -0.771 | -0.559<br>$\pm 0.005$ | -0.810 | -0.483<br>$\pm 0.006$ | -0.723 |
| M2               | -0.666<br>$\pm 0.005$ | -0.942 | -0.743<br>$\pm 0.005$  | -0.878 | -0.825<br>$\pm 0.007$  | -0.813 | -0.816<br>$\pm 0.006$ | -0.856 | -0.730<br>$\pm 0.008$ | -0.795 |
| M3               | -0.771<br>$\pm 0.006$ | -0.947 | -0.852<br>$\pm 0.005$  | -0.891 | -0.930<br>$\pm 0.008$  | -0.833 | -0.924<br>$\pm 0.006$ | -0.874 | -0.837<br>$\pm 0.008$ | -0.823 |
| M4               | -0.830<br>$\pm 0.006$ | -0.939 | -0.913<br>$\pm 0.006$  | -0.888 | -0.985<br>$\pm 0.008$  | -0.843 | -0.982<br>$\pm 0.006$ | -0.882 | -0.897<br>$\pm 0.008$ | -0.831 |
| M5               | -0.879<br>$\pm 0.010$ | -0.889 | -0.952<br>$\pm 0.007$  | -0.851 | -1.025<br>$\pm 0.008$  | -0.834 | -1.014<br>$\pm 0.007$ | -0.869 | -0.929<br>$\pm 0.009$ | -0.819 |
| M6               | -0.804<br>$\pm 0.015$ | -0.755 | -0.922<br>$\pm 0.010$  | -0.745 | -1.019<br>$\pm 0.010$  | -0.776 | -1.008<br>$\pm 0.009$ | -0.801 | -0.958<br>$\pm 0.011$ | -0.762 |
| M7               | -0.311<br>$\pm 0.014$ | -0.434 | -0.661<br>$\pm 0.013$  | -0.538 | -0.883<br>$\pm 0.013$  | -0.650 | -0.976<br>$\pm 0.012$ | -0.684 | -0.827<br>$\pm 0.014$ | -0.626 |
| M8               | -0.999<br>$\pm 0.016$ | -0.793 | -0.931<br>$\pm 0.011$  | -0.719 | -1.069<br>$\pm 0.010$  | -0.792 | -1.040<br>$\pm 0.008$ | -0.821 | -0.945<br>$\pm 0.011$ | -0.757 |

表 3 2002 年 6 月气压的修正系数

Table 3 The barometric coefficients of Jun. 2002

| 计数格式    | 时间段                   | $P_0/\text{hPa}$ | $\beta/(\%)$       | $r$    |
|---------|-----------------------|------------------|--------------------|--------|
| 按小时平均计数 | 2002-06-01—2002-06-10 | 596.51           | $-0.583 \pm 0.008$ | -0.980 |
|         | 2002-06-01—2002-06-20 | 595.36           | $-0.578 \pm 0.006$ | -0.977 |
|         | 2002-06-01—2002-06-30 | 596.04           | $-0.583 \pm 0.004$ | -0.981 |
| 按日平均计数  | 2002-06-01—2002-06-30 | 596.04           | $-0.603 \pm 0.021$ | -0.984 |

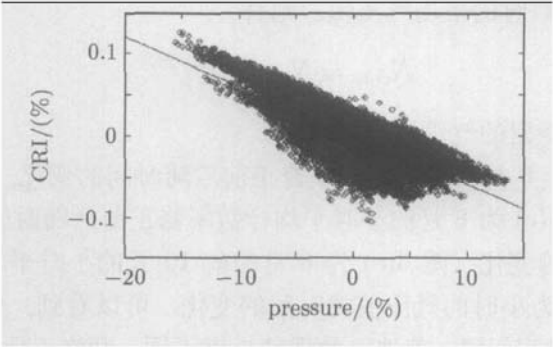


图 2 中子监测器的气压修正系数 (single)

Fig.2 The barometric coefficients of single channel

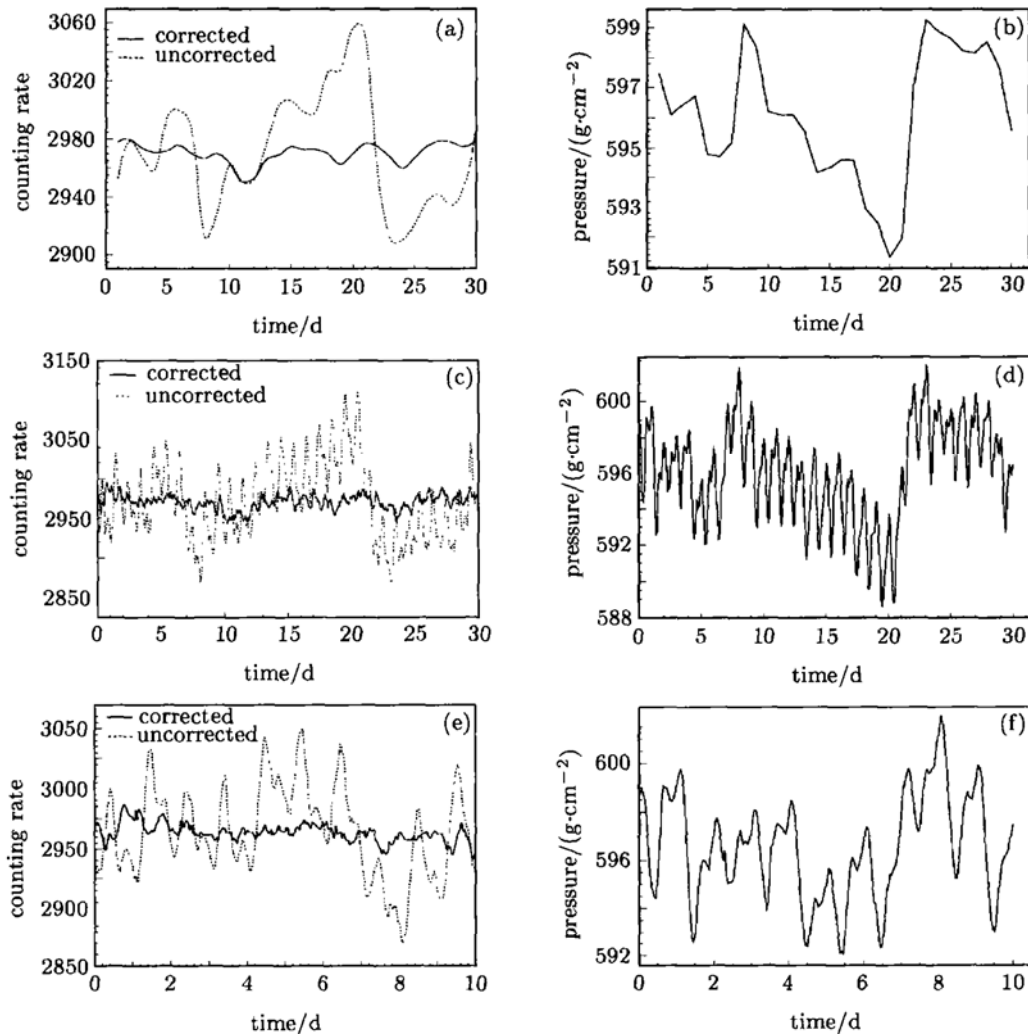


图 3 2002 年 6 月 (a) 宇宙线强度每天的修正值和非修正值, (b) 每天的气压值随时间的变化, (c) 宇宙线强度每小时的修正值和非修正值, (d) 每小时的气压值随时间的变化, (e) 宇宙线强度每小时的修正值和非修正值, (f) 每小时的气压值随时间的变化

Fig.3 (a) The corrected and uncorrected day-average counting rate, (b) the day-average pressure, (c) the corrected and uncorrected hour-average counting rate, (d) the hour-average pressure, (e) the corrected and uncorrected hour-average counting rate, and (f) the hour-average pressure

### 3 结语与讨论

本文分析结果显示, 气压修正系数不仅与气压相关, 而且与太阳活动水平强烈的相关. 太阳活动水平越高的年 (黑子数越大的年), 气压修正系数  $\beta$  值的绝对值越大. 这与 Massetti 分析 Oulu 台站<sup>[5]</sup> 的结论有所不同, 需要进一步的探讨研究. 因为本文只分析了羊八井 1998—2002 年的数据, 而这正是处于太阳活动第 23 周的高年时间段, 而且 1999 和 2001 年太阳活动有两个峰, 因此需在今后的下降阶段 (2003—2005 年) 再做比较. 通过分析我们还看到, 同样的时间段, 若计数采样的时间间隔不同, 则修正后得到的计数率的

值是不同的,这是因为采样时间间隔不同导致平均气压值的不同,因而得到不同的气压修正系数.气压修正前后的计数率有时差异非常大,因此,气压修正是数据处理和分析的必要的前期工作.

本文拟合得到的气压修正系数可以对原始观测数据进行气压修正.相对于 Dorman 所做的三步近似以及采用辅助台站数据进行相关参考来说,本文只是进行了第一步.从图 4 可以看出,单路及多重数为 1—5 的计数分布一致,而多重数更高的 6—8 趋向于一致.

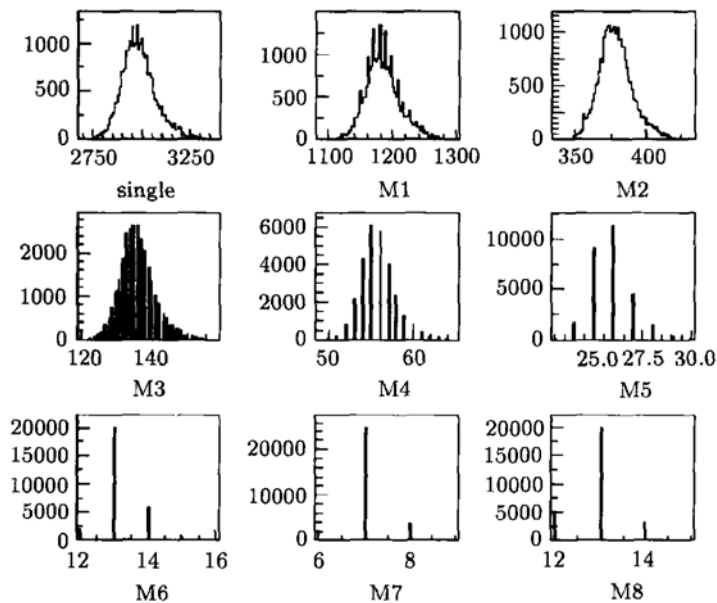


图 4 单路及各多重数计数的分布图

Fig.4 The counting rate distribution of the single and multiplicity channels

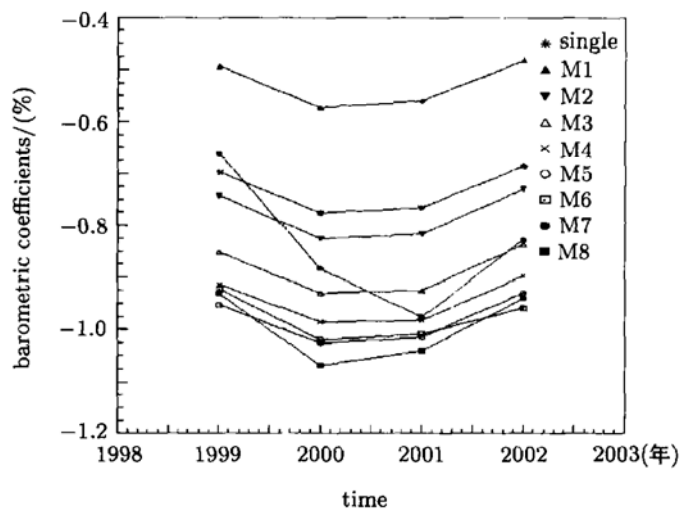


图 5 1999—2002 年单路及各多重数计数的的气压修正

Fig.5 The barometric coefficients of the single and multiplicity channel from 1999 to 2002

从图 5 也可看到, single 及 M1—M5 走势较为一致, 其中 M7 变化最乱, 具体原因目前尚不清楚, 可能是数据的原因. 我们分析的数据中, 每年的数据中都有少量月份数据的缺失, 对拟合的结果会有些影响. 表 2 显示单独拟合各年的结果的误差较大, 若选取一辅助台站数据为参考完成三步近似有望降低误差<sup>[4],[5]</sup>.

### 参 考 文 献

- [1] Dorman L I. Experimental and Theoretical Principles of Cosmic Ray Astrophysics. Beijing: Science Press, 1987. in Chinese (多尔曼. 宇宙线天体物理学实验和理论基础. 北京: 科学出版社, 1987, 138—140)
- [2] Dorman L I. Cosmic Ray Variations. Beijing: Science Press, 1965. in Chinese (多尔曼. 宇宙线强度变化. 北京: 科学出版社, 1965, 110—115)
- [3] Dorman L I. Meteorological Effects of Cosmic Rays. NAUKA, Moscow, 1972
- [4] Dorman L I *et al.* Barometric coefficients for different neutron multiplicities according to ESO NM data (Israel) and data of University "Roma Tre" NM (Italy). In: Proc. 27th ICRC, Hamburg, 2001, 4075—4078
- [5] Massetti S *et al.* The attenuation coefficient for Oulu neutron monitor. In: Proc. 27th ICRC, Hamburg, 2001, 3852—3855
- [6] Kusunose M. A solar cycle variation in the barometer coefficients of high latitude neutron monitors. *Phys. Soc. Japan*, 1984, 53:4488—4498
- [7] Rogava O G *et al.* Cyclic variations of the barometric coefficient of the neutron component of cosmic rays. *Ge&Ae*, 1991, 31:343—345

## THE PRESSURE CORRECTION OF THE COSMIC RAY DATA IN YANGBAJING

TANG Yunqiu<sup>1</sup> LU Hong<sup>1</sup> LE Guiming<sup>2</sup> TAN Youheng<sup>1</sup> ZHANG Jilong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

<sup>2</sup>(Center for Space Science and Applied Research, The Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

In this paper, the pressure correction of the cosmic ray intensity in Yangbajing is investigated. Pressure correction is not only related to the atmospheric pressure, but also to the solar activities. The absolute value of barometric coefficient is biggest when the level of solar activities is highest. And the barometric coefficient is related to the sampling time of data. In the same time, using different sampling time got different barometric coefficient. The pressure correction is made to the raw data of Tibet neutron monitor, and the barometric coefficients of single channel and eight multiplicity channels are calculated.

**Key words** Cosmic ray, Neutron monitor, Solar activity, Barometric coefficients