

# EMC效应对大 $p_T$ 实光子产生过程的影响

柯耀煌 林仲金

(厦门大学物理学系)

## 摘 要

本文讨论了 EMC 效应对大  $p_T$  实光子产生过程的影响。从部份子统计模型出发,用重标度方案确定符合 EMC 效应实验数据的核内参数;计算了大  $p_T$  实光子产生过程的两种显示 EMC 效应的截面比。结果表明 EMC 效应对这种过程的影响不大,在  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ ,  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ , 对 Fe, 截面的变化约为  $3 \sim -3\%$ 。

—

关于 EMC 效应,理论上已经提出了几种模型,按照它们中大多数的设想,夸克、胶子的分布函数与原子核有关,那么人们自然地意识到其它一系列牵涉到原子核的强作用硬过程也会显示出 EMC 效应的影响,已有文章<sup>[1,2]</sup>对其中一些过程如高能强子-原子核碰撞的 Drell-Yan 过程和大  $p_T$  实光子产生过程进行讨论。近来提出的部份子统计模型<sup>[3,4]</sup>令人满意地说明了 EMC 效应在夸克和胶子动量分布中显示的行为,本文采用这种模型对大  $p_T$  实光子产生过程的核依赖关系进行讨论,我们的目的是考查 EMC 效应对大  $p_T$  实光子产生过程的影响,以此进一步检验统计模型。在  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ ,  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ , 我们的计算所用的部份子分布函数避开了小  $x$  区这一目前还没有搞清楚的区域,因此其结果对将用核靶做光子精确测量的实验<sup>[5]</sup>有参考价值。

二

EMC 效应在大  $p_T$  实光子产生过程中所产生的影响,用大  $p_T$  的  $p + N \rightarrow \gamma + X$  与  $p + p \rightarrow \gamma + X$  过程不变截面的比值反映。我们的计算分两种情况:

a) 快度  $y_\gamma = y_X = 0$ , 即  $x_a = x_b = x_T$ , 只考虑入射粒子中动量分数相等的部份子贡献

$$R_{\gamma 1}^{(A)} = \frac{E_\gamma d^4 \sigma^{(A)} / d^3 p_\gamma dy_x}{E_\gamma d^4 \sigma^{(D)} / d^3 p_\gamma dy_x} \quad (1)$$

b) 考虑入射粒子中所有参加过程的部分子累积贡献

$$R_{\gamma 2}^{(A)} = \frac{E_\gamma d^3 \sigma^{(A)} / d^3 p_\gamma}{E_\gamma d^3 \sigma^{(D)} / d^3 p_\gamma} \quad (2)$$

按文献[5]中的(1),(2)式及大  $p_T$  下  $A + B \rightarrow \gamma + X$  过程的运动学关系<sup>[6]</sup>, 可得

$$E_\gamma \frac{d^3 \sigma}{d^3 p_\gamma} = \frac{2}{\pi} \sum_{a,b} \int_{x_1}^1 \frac{dx_a}{2x_a - x_T} F(a, A; x_a) F(b, B; x_b) \frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}} \quad (3)$$

其中

$$\begin{cases} x_b = x_T \frac{x_a}{2x_a - x_T} \\ x_1 = x_{a, \min} = \frac{x_T}{2 - x_T} \end{cases} \quad (4)$$

$F(a, A; x_a)$  ( $F(b, B; x_b)$ ) 是入射强子 A(B) 中部份子  $a$  ( $b$ ) 的动量分布函数。

如果让  $y_x = y_\gamma = 0$ , 即  $x_a = x_b = x_T$ , 则

$$E_\gamma \frac{d^4 \sigma}{d^3 p_\gamma dy_x} = \frac{1}{\pi} \sum_{a,b} F(a, A; x_T) F(b, B; x_T) \frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}} \quad (5)$$

$\frac{d\hat{\sigma}}{d\hat{t}}$  是子过程的不变截面, 仅考虑其最低阶图的贡献有 Compton 散射和湮灭过程。

关于核子的结构函数和胶子动量分布函数, 在无穷大动量系分别取为<sup>[7]</sup>

$$f_2(x) = \frac{5}{9} \times 12 \times \frac{VT^2}{4\pi^2} \mathcal{M}_{Nx} \left[ L_{i2} \left( \frac{1}{1 + z^{-1}e^{-\phi}} \right) + \phi \ln(1 + ze^{-\phi}) + \frac{1}{2} \ln^2(1 + ze^{-\phi}) \right] \quad (6)$$

$$g(x) = 16 \times \frac{VT^2}{4\pi^2} \mathcal{M}_{Nx} [L_{i2}(e^{-\phi}) - \phi \ln(1 - e^{-\phi})] \quad (7)$$

其中  $\phi \equiv \frac{\mathcal{M}_{Nx}}{2T}$ ,  $z \equiv \exp(\mu_q/T)$ ,  $L_{i2}$  是欧拉双对数函数。热力学量  $T$  按文献[4]中的(2)式

$$U = \frac{8}{15} \pi^2 VT^4 \quad (8)$$

确定。化学势  $\mu_q$  ( $\mu_{\bar{q}}$ ) 按文献[3,4]的假定  $\mu_{\bar{q}} = -\mu_q$ , 并利用夸克总分布, 归一到3个价夸克的条件

$$3 = 2V(\mu_q T^2 + \mu_q^3/\pi^2) \quad (9)$$

求得。

对于胶子本身的化学势问题, 与文献[3,4]不同, 本文所讨论的是大  $p_T$  过程且计算所用的胶子动量分布函数不在小  $x$  区; 另外, 在以下的计算中我们发现取  $\mu_g$  在  $0 \sim -5$  MeV 之间对结果影响不大。所以, 取类比光子的结果  $\mu_g = 0$ 。

基于上述的讨论, 先对  $R(x, Q^2, Be)$  和  $R(x, Q^2, Fe)$  进行计算。计算中我们取自

由核子  $m_N^{(D)} = 940 \text{ MeV}$ ,  $R_D = 0.8 \text{ fm}$ ,  $T^{(D)} = 130 \text{ MeV}$ ,  $\mu_q^{(D)} = 100 \text{ MeV}$ , 由文献[8]的重标度方案给出  $R_{Be} = 0.83 \text{ fm}$ ,  $R_{Fe} = 0.86 \text{ fm}$ , 再按(8)和(9)式得到  $T^{(Be)} = 127 \text{ MeV}$ ,  $T^{(Fe)} = 123 \text{ MeV}$ ;  $\mu_q^{(Be)} = 70 \text{ MeV}$ ,  $\mu_q^{(Fe)} = 55 \text{ MeV}$ , 结果如图1, 图2所示. 把截面表达式和拟合 EMC 效应实验数据的夸克动量分布函数和胶子动量分布函数代入(1), (2)式, 求得  $R_{\gamma_1}^{(Be)}$ ,  $R_{\gamma_1}^{(Fe)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(Be)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(Fe)}$  随  $p_T$  的变化关系如图3, 图4所示. 对  $R_{\gamma_2}^{(A)}$ , 取  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ . 在计算中, 必须考虑湮没效应, 和其它模型不同, 我们的反夸克动量分布虽比胶子的低, 但还不到数量级的差别, 所以湮没效应是不可忽略的. 另外, 发现几种惯用的  $Q^2$  不同选择, 对计算结果几乎没有影响.

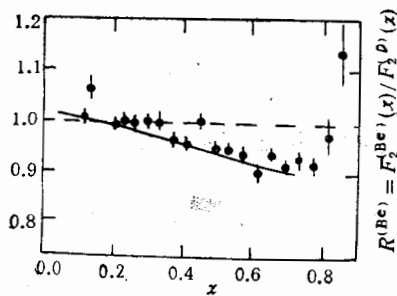


图1 ● SLAC 组实验数据

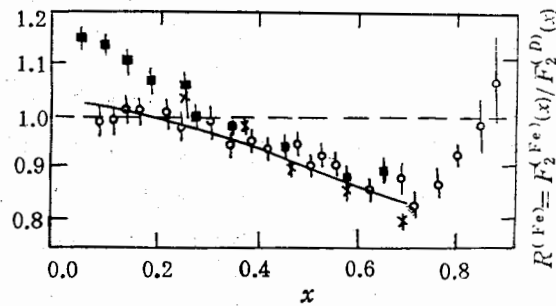


图2 ■ EMC 组 ○ SLAC 组 × BCDMS 组实验数据

=

图3表明  $R_{\gamma_1}^{(A)}$  随  $p_T$  缓慢下降,  $A$  小的, 下降较慢.  $R_{\gamma_1}^{(A)}$  偏离1的值不大, 在  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ , 以1为基准,  $R_{\gamma_1}^{(Fe)}$  从偏离4%下降至2%,  $R_{\gamma_1}^{(Be)}$  从2%下降至-1%. 由于讨论大  $p_T$  过程, 且图3是在快度  $y_r = y_x = 0$ , 即  $x_a = x_b = x_T$  情况下得到的, 因而光子的分数横动量  $x_T = 2p_T/\sqrt{s}$  反映了碰撞部份子的  $x$  值. 当  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$  或  $E_{Lab} = 800 \text{ GeV}$  时, 图3的  $p_T$  值范围对应着  $x$  值  $0.1 \leq x \leq 0.5$ .

图4中  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  值  $p_T$  下降的趋势与图3基本相似, 下降幅度近似相同,  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  偏离1

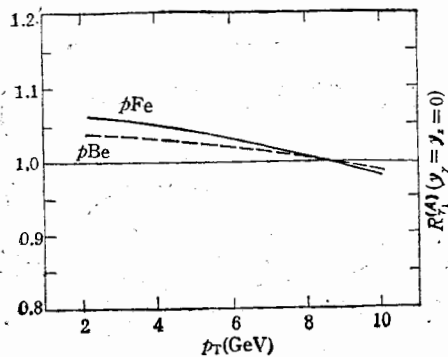


图3

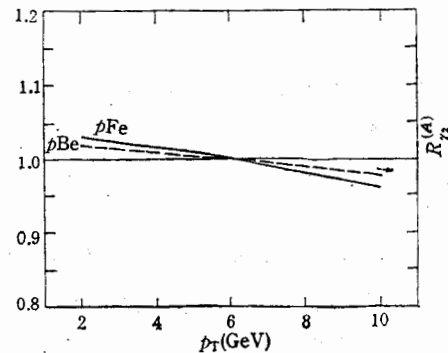


图4

的值也不大。但  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  一开始就以偏离较小的值下降, 在  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(Fe)}$  从 1% 下降至 -4%,  $R_{\gamma_2}^{(Fe)}$  从 0.5% 下降至 -2%。

从  $R_{\gamma_1}^{(A)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  的表达式, 清楚地看到  $R_{\gamma_1}^{(A)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  偏离 1, 是由于核内核子中部份子动量分布函数的修正, 即 EMC 效应引起的。  $R_{\gamma_1}^{(A)}$  的变化更为直接地反映着 EMC 效应的作用, 对于 Fe, 实光子产生过程的核效应幅度大约只是对应的结构函数 EMC 效应的一半。

对于  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ ,  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ , 在图 3 中对应着碰撞部份子  $x$  值范围 0.25~0.5, 图 4 考虑了所有参加过程的部份子累积贡献, 其动量分数最小值  $\sim 0.15$ , 因而对  $R_{\gamma_1}^{(A)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(A)}$  的计算已避开了小  $x$  值区。图 3 是在  $x_a = x_b = x_T$  特殊情况下得到的, 而图 4 涉及到  $x > 0.65$  区域的部份子动量分布, 在这范围的部份子动量分布要受到费米运动的影响, 但本文计算所用的动量分布函数忽略了费米运动。我们对  $R_{\gamma_1}^{(Fe)}$ ,  $R_{\gamma_2}^{(Fe)}$  偏离 1 的值取平均, 给出 EMC 效应引起大  $p_T$  实光子产生过程的截面变化, 对 Fe 约为 3~-3%, 在  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ ,  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ 。

文献[2]对  $R_{\gamma_1}^{(A)}$  的讨论预言了  $R_{\gamma_1}^{(Fe)}$  在同样的  $\sqrt{s}$  值和  $p_T$  值范围下降 15~20%, 比我们的结果大得多, 这样的差异主要来源于采用的胶子动量分布函数的不同。文献[2]引用的两种模型预言了胶子动量分布函数的比值  $R_g(x, Q^2, Fe)$  在  $x$  中值区急剧地下降, 而本文的则下降缓慢(参见图 5)。前面我们曾指出, 文献[3,4]的理论结果与小  $x$  区  $R_g(x, Q^2, Fe)$  的实验数据很好地符合, 如果把它们的讨论延拓至  $x$  中值区,  $R_g(x, Q^2, Fe)$  随  $x$  的变化不可能象文献[2]引用的两种模型那样急剧地下降。此外, 对末态类似含有电磁相互作用粒子的 Drell-Yan 过程, 文献[1]的计算结果表明 EMC 效应在这种过程中的作用很小, 所以我认为, 本文所采用的胶子动量分布函数是比较合理的。按照我们的讨论, 可以推断文献[6]的计算如果考虑了束缚核子的影响, 那么其结果与没有计及 EMC 效应修正的不会产生太大的差异。

作者感谢彭宏安教授的有益讨论。

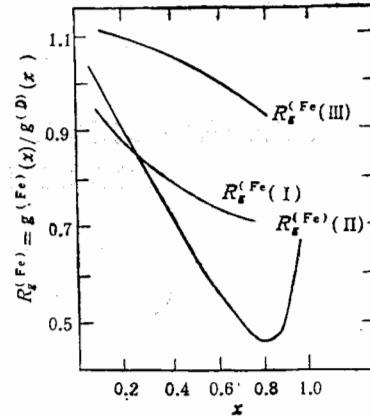


图 5

$R_g^{(Fe)}(I)$ ——重标度模型  
 $R_g^{(Fe)}(II)$ ——夸克集团模型  
 $R_g^{(Fe)}(III)$ ——统计模型

## 参 考 文 献

- [1] 彭铁梁、李子邦、彭宏安, 高能物理与核物理, **10**(1986), 438.
- [2] G. Ballocci and M. Zielinski, *Zeit. Phys.*, **C32** (1986), 27.
- [3] 李子邦、彭宏安, 高能物理与核物理, **12**(1988), 55.
- [4] Hong-an Peng, Zi-bang Li and Zhong-jin Lin, *Phys. Lett.*, **192B**(1987), 185.
- [5] T. Ferbel and W. Molzon, *Rev. Mod. Phys.*, **56**(1984), 181.
- [6] 林仲金, 厦门大学学报(自然科学版), **23**(1984), 47.
- [7] S. Gupta and K. V. Sarma, *Zeit. Phys.*, **C29**(1985), 329.
- [8] 刘连寿、彭宏安、赵维勤, 中国科学 (A 辑), **11**(1985), 1008.

## THE INFLUENCE OF EMC EFFECT ON LARGE- $p_T$ DIRECT PHOTON PRODUCTION

KE YAOHUANG LIN ZHONGJIN

(Department of Physics, Xiamen University)

### ABSTRACT

The influence of EMC effect on the large- $p_T$  direct photon production is discussed. Starting with the statistical model of partons, we make use of the rescaling model to estimate nuclear parameters fitting experimental data of the EMC effect, and calculate the ratio of the cross section for large- $p_T$  direct photon production which manifests the EMC effect. It is shown that the EMC effect affects the process slightly, the deviation of the Fe to deuterium ratio from 1 is expected to be about 3—3% in the region of  $5 \leq p_T \leq 10 \text{ GeV}$ ,  $\sqrt{s} = 40 \text{ GeV}$ .