

用 Monte Carlo 产生器 GCP 模拟 J/ψ 的产生和吸收*

姚晓霞^{1,2,3} 赵维勤^{1,2,1)} 庞阳⁴

1(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

2(中国高等科学技术中心 北京 100080)

3(河北师范大学物理系 石家庄 050016)

4(哥伦比亚大学物理系 纽约)

摘要 基于 Monte Carlo 产生器 GCP, 模拟了 SPS 能量下 p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 粒子的产生和吸收过程. 对 J/ψ 的吸收主要考虑了两种机制: 强子环境下的核吸收和同行粒子对 J/ψ 的吸收. 把 Monte-Carlo 模拟的结果和 p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 产生的实验数据进行了对比, 除了 Pb-Pb 碰撞外, 结果和实验数据符合得很好.

关键词 GCP J/ψ 的核吸收 同行粒子

1 引言

自从 Matsui 和 Satz^[1] 在 1986 年提出了相对论重离子碰撞中 J/ψ 压低可以作为夸克-胶子等离子体形成的信号以来, 已经有许多实验在核-核碰撞中观测到了 J/ψ 压低^[2-4]. 所以 J/ψ 压低现象引起了核物理学家的广泛兴趣. 后来人们在不能形成夸克-胶子等离子体的强子-核碰撞中同样观测到了 J/ψ 压低^[5]. 所以研究 J/ψ 产生时所处的强子环境^[6-9]引起的 J/ψ 压低至关重要.

目前, 强子-核碰撞中几种可能的 J/ψ 压低机制有: J/ψ 的核吸收机制, J/ψ 与同行粒子的相互作用, 核遮蔽效应, 能量损失效应. 本文将考虑前两种机制对 J/ψ 压低的影响.

由庞阳编写的 GCP (General Cascade Program)^[10] 是一个以级联模式为基础的产生器. 级联模式已经被广泛地应用于相对论重离子碰撞的研究中. 这种模式用在高能核-核碰撞中具有其它方法无可比拟的优越性. 它既能定量地提供核-核反应中的整体性质, 又可给出反应中的某些特征谱.

原则上, 级联模式非常简单. 大多数级联模型把核-核碰撞想象为以相对论速度前进

1998-04-24收稿

* 国家自然科学基金和河北省自然科学基金资助

1) 理论物理所客座人员

的经典的弹子球的级联碰撞. 但实际上, 级联模型的产生器却是十分复杂的. 为了描述一个真实的核-核碰撞事件, 每一个产生器必须包含大量的物理过程. 为此需要引入具体的物理假设和相应的参数. 所以一个级联模型产生器的最终结果将依赖于这些假设和参数. 目前应用于相对论重离子碰撞的产生器很多, 并且基于不同的物理假设. 但由于各个产生器的物理模型与级联过程是紧密联系在一起的, 无法分割. 这给不同模型物理结果的比较造成很大困难.

设计 GCP 的最主要的目的就是要把复杂的物理模型和级联过程分割开, 分别对两者进行研究. 这样做的好处是, 级联过程是独立于物理模型的, 因此可以把不同的物理加入 GCP 进行研究. 这样不同的物理模型可以在一个相同的级联过程的框架内进行比较. GCP 本身仅仅是一个级联模型, 作为建立包含不同物理内容的相对论级联碰撞过程的模型的工具. 这就是 GCP 和其它的级联模型产生器的主要不同.

到目前为止, 已经有许多关于 J/ψ 压低机制的讨论, 用产生器来直接模拟 J/ψ 的产生和吸收过程的工作还刚刚开始^[11]. 而这正是我们将用 GCP 产生器对 J/ψ 压低作比较系统的讨论的目的. 我们的工作分为两步, 首先把纵向激发的受伤核子的模型加入 GCP, 用它来处理核-核碰撞中粒子之间的相互作用. 然后用 GCP 模拟了 SPS 能量下 p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 粒子的产生和吸收过程. 并把 Monte-Carlo 模拟的结果和 p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 产生的实验数据进行了对比, 除了 Pb-Pb 碰撞外, 结果和实验数据符合得很好.

2 输运方程和级联模式

在一个多体系统中, 如果粒子间的关联很弱, 并且粒子间的相互作用主要由短程力引起, 此时, 这个系统可以看成点粒子的集合, 在两个相邻的短程相互作用之间点粒子是自由运动的. 这样一个多体系统可以由玻尔兹曼方程组来描述, 级联模式则是用来求解这组方程的一种近似方法^[10, 12]. 当不存在相互作用时, 强子的相空间分布是由如下的相对论玻尔兹曼方程来决定的, 即,

$$p^\mu \partial_\mu \omega_a(x, t, \mathbf{p}) = 0. \quad (1)$$

ω_a 为密度分布 (发现动量为 \mathbf{p} , 坐标为 $x^\mu = (x, t)$ 的质壳上的粒子的几率密度). 引入相互作用后, 从初态的 n 个粒子 (b_1, b_2, \dots, b_n) 到末态的 m 个粒子 (c_1, c_2, \dots, c_m) 的相互作用由 S 矩阵决定,

$$\langle c_1, c_2, \dots, c_m | S | b_1, b_2, \dots, b_n \rangle = A_{n-m} (2\pi)^4 \delta^4 \left(\sum_{i=1}^n p_{b_i} - \sum_{j=1}^m p_{c_j} \right). \quad (2)$$

在这样的相互作用下, 对所有可能的入射和出射通道求和后, 得到一个局域相互作用下, 不包含平均场效应的非常一般的输运方程

$$p^\mu \partial_\mu \omega_a(x, t, \mathbf{p}) = \sum_n \sum_{b_1, b_2, \dots, b_n} \int \prod_{i=1}^n \frac{d^3 \mathbf{p}_{b_i}}{(2\pi)^3 2E_{b_i}} \omega_{b_i}(x, t, \mathbf{p}_{b_i}) - \sum_m \sum_{c_1, c_2, \dots, c_m} \int \prod_{j=1}^m \frac{d^3 \mathbf{p}_{c_j}}{(2\pi)^3 2E_{c_j}} |A_{n-m}|^2$$

$$(2\pi)^4 \delta^4 \left(\sum_{i=1}^n p_{b_i} - \sum_{k=1}^m p_{c_k} \right) \left[- \sum_{i=1}^n \delta_{ab_i} \delta^3(\mathbf{p} - \mathbf{p}_{b_i}) \cdot 2E_{b_i} + \sum_{j=1}^m \delta_{ac_j} \delta^3(\mathbf{p} - \mathbf{p}_{c_j}) \cdot 2E_{c_j} \right], \quad (3)$$

其中，“-”和“+”的两个 δ 函数项分别代表碰撞后 a 类粒子从入射道的减少和从出射道中产生。原则上，给定分布的初始值和所有的相互作用的矩阵元 $A_{n \rightarrow m}$ ，就可以求解上面的方程。

粒子相互作用的级联模式是求解这种方程的一种近似方法。假定所有粒子均为点粒子，粒子 a 的相空间密度分布 ω_a 可写成

$$\omega_a(\mathbf{x}, t, \mathbf{p}) = \frac{N_a}{M_a} \sum_{i=1}^{M_a} \delta^3(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i(t)) \delta^3(\mathbf{p} - \mathbf{p}_i), \quad (4)$$

其中 M_a 表示共有 M_a 个试验点粒子 a， N_a 为 a 粒子的数目。当 $M_a \rightarrow \infty$ 时， ω_a 可以准确地描述 a 粒子的密度分布。在没有相互作用时，其相空间分布由方程(1)决定。它的解为

$$\omega_a(\mathbf{x}, t, \mathbf{p}) = \frac{N_a}{M_a} \sum_{i=1}^{M_a} \delta^3(\mathbf{x} - \mathbf{x}_i(0) - \mathbf{v}_i t) \delta^3(\mathbf{p} - \mathbf{p}_i), \quad (5)$$

粒子以速度 $\mathbf{v}_i = \mathbf{p}_i / E_{p_i}$ 沿直线运动。

对于共振衰变 ($n = 1$) 的情况，

$$\frac{1}{2E_b} \int \prod_{j=1}^m \frac{d^3 p_{c_j}}{(2\pi)^3 2E_{c_j}} |A_{1 \rightarrow m}|^2 (2\pi)^4 \delta^4 \left(p_b - \sum_{k=1}^m p_{c_k} \right) = \eta_{b \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m}, \quad (6)$$

是 $b \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m$ 道的衰变率。总衰变率 $\eta_b = \sum_m \sum_{c_1, c_2, \dots, c_m} \eta_{b \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m}$ 是共振态

寿命的倒数 $\eta_b = 1/(\gamma_b \tau_b)$ ，其中 $\gamma_b = |\mathbf{p}_b| / E_b$ 是洛仑兹时间延长因子， τ_b 是粒子 b 的固有寿命。已知共振态的寿命和各衰变道的分支比，就可以对衰变过程进行模拟。

在两体碰撞 ($n = 2$) 中，

$$\frac{1}{2E_{b_1} 2E_{b_2}} \int \prod_{j=1}^m \frac{d^3 p_{c_j}}{(2\pi)^3 2E_{c_j}} |A_{2 \rightarrow m}|^2 (2\pi)^4 \delta^4 \left(p_{b_1} + p_{b_2} - \sum_{k=1}^m p_{c_k} \right) = |\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1| \sigma_{b_1 + b_2 \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m}, \quad (7)$$

其中 $\sigma_{b_1 + b_2 \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m}$ 是通道 $b_1 + b_2 \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m$ 的微分截面。对所有的产生粒子的通道求和

$$\sigma_{b_1 + b_2} = \sum_m \sum_{c_1, c_2, \dots, c_m} \sigma_{b_1 + b_2 \rightarrow c_1 + c_2 + \dots + c_m} \quad (8)$$

可以得到总截面。 $|\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1| \sigma_{b_1 + b_2}$ 表示长度为 $|\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1|$ ，面积是 $\sigma_{b_1 + b_2}$ 的柱体体积。它反映单位时间内粒子 1 和粒子 2 的碰撞几率。这一项的模拟可以通过使 $\sigma_{b_1 + b_2}$ 面积内互接近的两个粒子 b_1 和 b_2 发生碰撞来实现。我们认为发生碰撞的时间是两个粒子的距离最

小的那一刻. 当碰撞发生时, 用微分截面来决定反应的特定通道的分支比.

产生粒子的动量分布在相空间内确定. 它具有权重 $|A_{n-m}|^2$, 并且满足能动量守恒^[10]

$$\int \prod_{j=1}^m \frac{d^3 p_{c_j}}{(2\pi)^3 2E_{c_j}} |A_{n-m}|^2 (2\pi)^4 \delta^4 \left(\sum_{l=1}^n p_{b_l} - \sum_{k=1}^m p_{c_k} \right). \quad (9)$$

在 GCP 中, 产生粒子的动量是在相空间内取有限横动量和均匀的纵动量分布^[10]. 所以级联模式把方程的求解简化为已知截面和分支比的一系列经典粒子的散射过程. 但是有一个问题存在: 虽然输运方程是洛仑兹不变的, 由于级联模式让粒子间的距离小于 $d = \sqrt{\sigma} / \pi$ 时发生碰撞, 并且按时间先后选择最早的可能碰撞, 碰撞的排序与所取的坐标系有关, 所以在级联模式中洛仑兹不变性是不能严格成立的. 这个问题存在于所有以级联模式为基础的事例产生器中, 它导致模拟的结果对所取的参照系有一定的依赖关系. 比较在不同参照系中的 Monte Carlo 模拟结果发现, 在目前的能区, 这些结果没有本质区别. 但是在 RHIC 能区, 这个问题会比较突出. 为此, 文献 [10] 提出了一种恢复洛仑兹不变性的方法.

3 对相互作用的描述

3.1 核子-核子 (N-N) 相互作用

在 GCP 的 N-N 相互作用中, 主要包含共振产生过程, π 产生过程和共振衰变过程. 即

$$N + N \longrightarrow N^* + N^*, \quad (10)$$

$$N + N^* \longrightarrow N^* + N^*, \quad (11)$$

$$N + N \longrightarrow N + N + l\pi, \quad (12)$$

$$N^* \longrightarrow N + \pi, \quad (13)$$

其中 l 为产生 π 粒子的个数. l 的大小和参加碰撞的两个粒子的质心系能量有关. 在这些相互作用中, 每个反应的发生有一定的分支比. 在 GCP 中, 目前没有考虑质子 (p) 和中子 (n) 的区别, 以及 π^+ , π^- , π^0 的区别, 把 p, n 当作核子 N 考虑, 把 π^+ , π^- , π^0 都当作 π 考虑.

3.1.1 π 产生过程

根据实验结果得到的 N-N 碰撞中带电粒子平均多重数的经验公式是^[13]

$$\langle N_{ch} \rangle = 0.88 + 0.44 \ln s + 0.118 (\ln s)^2, \quad (14)$$

其中 s 是碰撞过程的质心系能量的平方, 单位是 GeV^2 . 因为并不考虑 π^+ , π^- , π^0 的区别, 从 $\langle N_{ch} \rangle$ 中减去领头核子的贡献, π 的平均多重数 $\langle n \rangle$ 为

$$\langle n \rangle = [\langle N_{ch} \rangle - 1.5] * 3/2. \quad (15)$$

对于选定的多重数分布, 用 Monte Carlo 模拟就能得到每次碰撞产生的多重数 n . GCP 目前不引入其它的动力学机制, 唯一的约束条件是碰撞过程中能动量守恒. GCP 中采用有限横动量的相空间分布. 考虑入射粒子的领头粒子效应后, 对 π 介子取均匀的纵向动量分布. 当把多重数的 KNO 分布放到 GCP 中后, 得到 π 多重数分布的统计结果如图 1 所示. 图 2 给出了 N-N 碰撞中产生粒子的快度分布和横动量分布.

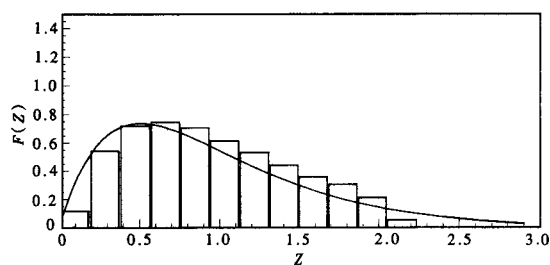
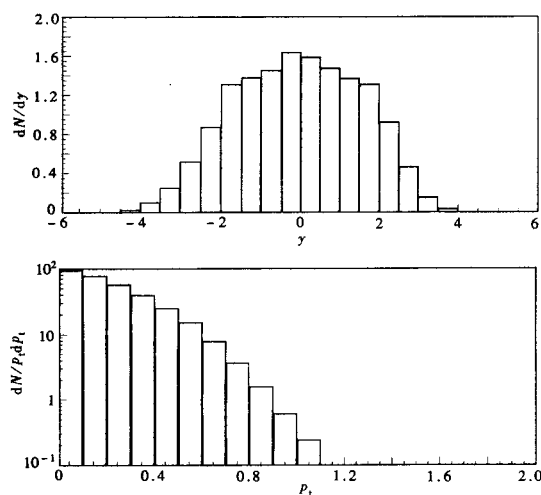
图1 N-N碰撞中 π 的多重数分布的统计结果

图2 N-N碰撞中产生粒子的快度分布和横动量分布的统计结果

3.1.2 共振衰变

N-N相互作用产生的 N^* 是不稳定粒子,有一定的寿命 τ . GCP的N-N相互作用中考虑了这种情况,让 N^* 粒子在时间 τ 内发生衰变,如公式(12)所示.

3.2 p-A和A-A碰撞过程

在强子-核(p-A)和核-核(A-A)碰撞过程中,N-N碰撞后马上就产生 π 介子的物理图象不符合实际情况,所以考虑了纵向激发的受伤核子模型.纵向激发的受伤核子模型让核子-核子碰撞后形成两个纵向激发的团,团有一定的寿命.团的碎裂是N-N碰撞产生其它粒子的来源,这比较符合实际的核子-核子碰撞过程.

我们所做的主要工作之一就是把纵向激发的受伤核子模型加入到GCP中,用它来描述粒子之间的相互作用.纵向激发的受伤核子模型假定,入射核子和靶核子碰撞后,核子不存在横向的激发,只在纵向,即束流方向被激发.除可能形成 N^* 共振态外,核子间碰撞将会产生两个纵向被激发的团 $string_1$ 和 $string_2$:

$$N + N \longrightarrow string_1 + string_2 . \quad (16)$$

团的质量用经验公式来确定.具体考虑如下:利用GCP已有的 π 产生过程模拟核子-核

子的碰撞过程. 在碰撞质心系中, 把粒子按沿纵向正方向和反方向分成两个团 (string), 分别统计不同能量下这两个团中所有粒子的质心能量, 得到团的质量的经验公式. 纵向被激发的团 $string_1$ 和 $string_2$ 经过一定寿命后碎裂.

$$string \rightarrow N + l\pi \quad (17)$$

每个团碎裂后产生 π 的数目 l 为相应质心能量下 N-N 碰撞多重数的一半. 团在碎裂前可以和其它的核子发生碰撞, 产生新的纵向被激发的团 $string_3$ 和 $string_4$, 依次类推. 纵向被激发的团的碎裂是 N-N 碰撞产生其它粒子的来源.

另外, 还考虑了次级碰撞过程. 团碎裂产生的次级粒子也可能会和入射核子或靶核子, 或其它的团和次级粒子再次碰撞. 这些过程主要包括:

$$N(N^*, string) + \pi \rightarrow N + \pi + l\pi \quad (18)$$

$$\pi + \pi \rightarrow \pi + \pi + l\pi \quad (19)$$

所有过程的反应截面都由实验数据决定, 并作为参数输入.

把纵向激发的受伤核子模型加入 GCP 后, 不会改变核子-核子碰撞过程的结果. 另外, 按照实验条件模拟了 S-U 的碰撞过程, 统计了产生粒子的横能 E_t 分布如图 3 所示. 这些都表明了 GCP 可以很好地描述 N-N, p-A 和 A-A 碰撞过程的各种宏观观测量, 为下面的工作做好了准备.

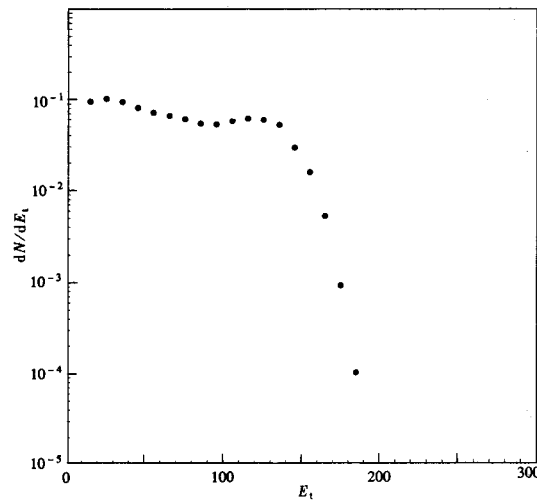


图3 S-U碰撞中产生粒子的横能分布的统计结果

3.3 碰撞过程的几何

在高能重离子碰撞过程中, 核的几何起着重要的作用^[14-16]. 碰撞参数 b 确定了两个核的重叠区域. 对于在一个确定碰撞参数上的事例, 在重叠区域内的核子叫参加者. 参加者的数目可以从几何考虑得到. 当考虑碰撞参数 b 的变化时, 就能得到参加者数目的分布. b 越大参加者的数目越小. 在 GCP 中 b 是输入量, 它可以是一个确定量, 也可以在某个区间内随机选取.

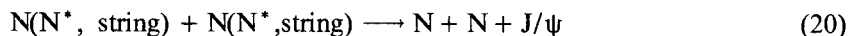
在第 2 节已经讨论过, 级联模式让粒子在距离小于 $d = \sqrt{\sigma/\pi}$ 时发生碰撞, 并且按时间的先后选择最早的可能碰撞.

这些考虑仅仅涉及了核的几何和级联模型,形成 GCP 的级联模式,而和其它的动力学过程无关. 这是 GCP 的显著的优点之一.

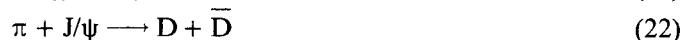
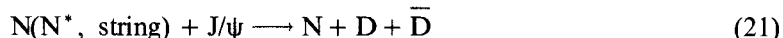
4 强子环境中可能的 J/ψ 压低

4.1 J/ψ 产生和吸收过程

为了模拟 J/ψ 粒子的产生和吸收过程,在 GCP 中加入 J/ψ 的产生通道:



及 J/ψ 与核子及核子激发态或同行粒子相互作用的 J/ψ 的吸收通道:

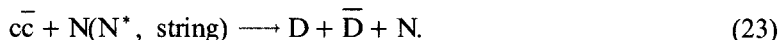


在核子-核子碰撞中产生 J/ψ 的几率是很小的,为了提高效率,人为地扩大 J/ψ 的产生截面,使得模拟过程中大部分的事例都能产生 1 个或 2 个 J/ψ. 但是因为我们所研究是各种情况下 J/ψ 产生的一个相对的结果,所以扩大 J/ψ 的产生截面对结果并不产生影响.

4.2 J/ψ 的核吸收

基于对强子-强子碰撞中 J/ψ 产生的研究,目前人们认为 J/ψ 的产生可分成两个阶段:入射强子和靶强子先通过部分子过程产生一对 cc̄,然后 cc̄ 对再演化为物理的 J/ψ 束缚态.

在核-核碰撞中,由于靶核中有许多核子,入射强子与靶核中的某一个核子碰撞产生 cc̄ 对之后,在 cc̄ 对演化为 J/ψ 束缚态前后的过程中,cc̄ 对将会与靶核中的其它核子或核子激发态发生碰撞从而导致如下破坏 cc̄ 对的过程,



即 cc̄ 对中的 c 夸克和 c̄ 夸克将与轻夸克结合成 D 和 D̄ 介子. 因此平均到每一次入射强子与靶核子碰撞, J/ψ 的产额会低于一个入射强子与一个自由核子碰撞的 J/ψ 产额,即引起 J/ψ 产额的压低.

4.3 J/ψ 和同行粒子的相互作用

所谓同行粒子,是指在高能碰撞中产生的一些次级粒子,主要是 π 介子及一些质量较小的共振态如 ρ, ω 等等. 这些粒子伴随着碰撞产生的 J/ψ 一起飞行,并且可以和 J/ψ 发生相互作用导致 J/ψ 的破坏,如公式 (22) 所示.

利用 GCP 模拟 J/ψ 产生和吸收的具体过程如下所示:

(1) 把 p-p 碰撞产生 J/ψ 的通道加入 GCP 相互作用表中. 我们考虑的是无偏 (minimal biased) 的情况,对碰撞参数 b 取平均值. 为了减少统计次数,对不同的核-核碰撞过程分别扩大 p-p 碰撞产生 J/ψ 的截面,让每个事例产生一个或两个 J/ψ,争取让每个统计事例都是有效的. 然后运行 GCP,统计 10000 个事例中的 J/ψ 的个数 N_{pro} .

(2) 把 J/ψ 和核子或核子激发态的作用产生 D 和 D̄ 的通道加入 GCP,对不同的核-核碰撞过程所用的条件和 (1) 完全相同,再次运行 10000 个事例,统计 J/ψ 的个数 $N_{\text{abs}(N)}$.

(3) 再把 J/ψ 和同行粒子作用产生 D 和 D̄ 的通道加入 GCP,对不同的核-核碰撞过程所

用的条件和(1)完全相同,再次运行 10000 个事例,统计J/ψ的个数 $N_{\text{abs}(N+\text{co})}$.

利用上面的统计结果,根据下面的公式来计算J/ψ的存活几率 S ,

$$S = N_{\text{abs}} / N_{\text{pro}} \quad (24)$$

J/ψ的吸收截面即J/ψ与粒子的相互作用截面 σ_{abs} 是在强子环境中解释J/ψ压低的一个非常重要的参量. 工作中将涉及到两个截面,即J/ψ的核子吸收截面 $\sigma_{\text{abs}(N)}$ 和J/ψ和同行粒子的相互作用截面 $\sigma_{\text{abs}(\text{co})}$. Gerchel 和 Hufner 对多组光子-核,强子-核,核-核碰撞中J/ψ压低的实验数据作了综合分析,并假定所观测到的J/ψ压低全部由J/ψ的核吸收引起,得到 $\sigma_{\text{abs}(N)} = 6.2\text{mb}$ 或 6.9mb . 另外人们一般认为,J/ψ与同行粒子的相互作用截面 $\sigma_{\text{abs}(\text{co})}$ 在 2mb 左右. 在 GCP 中 $\sigma_{\text{abs}(N)}$ 和 $\sigma_{\text{abs}(\text{co})}$ 是可调参量,我们调整这两个参量以使得模拟的结果和强子-核,核-核碰撞中J/ψ压低的实验数据符合.

下面讨论无偏 (minimum biased) 的数据. 对不同的 p-A 和 A-A 碰撞,所用的碰撞参数 b 取的是 b 的平均值,列在表 1 中. 当只考虑J/ψ与核子或核子激发态的相互作用时,GCP 模拟的 SPS 能量下 p-A 和 A-A 碰撞中J/ψ的存活几率如图 4 中方块所示,实验数据为实心三角形所示. 此时J/ψ与核子的相互作用截面取为 $\sigma_{\text{abs}(N)} = 7\text{mb}$. 从图中可以看到模拟的结果和 p-A 碰撞中J/ψ产生的实验数据符合得很好,对于 A-A 碰撞的情况,统计结果基本符合实验数据,只有 Pb-Pb 碰撞除外. 由此可见强子环境中的核子吸收机制可以解释除 Pb-Pb 碰撞外的所有核-核碰撞过程. 并且 $\sigma_{\text{abs}(N)}$ 和 Gerchel 等理论计算的结果是完全相符的. 所以利用 GCP 可以比较成功地模拟 p-A 和 A-A 碰撞中J/ψ的产生和吸收情况.

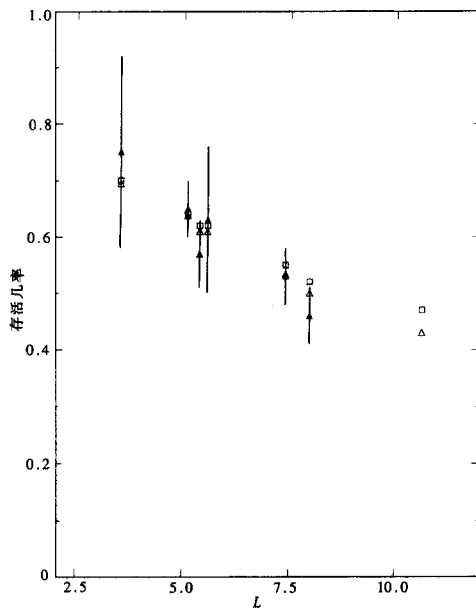


图 4 当 string 寿命为 $1\text{fm}/c$ 时, p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 的存活几率

□只包含核吸收时的计算结果,

△包含核吸收和同行粒子吸收时的计算结果.

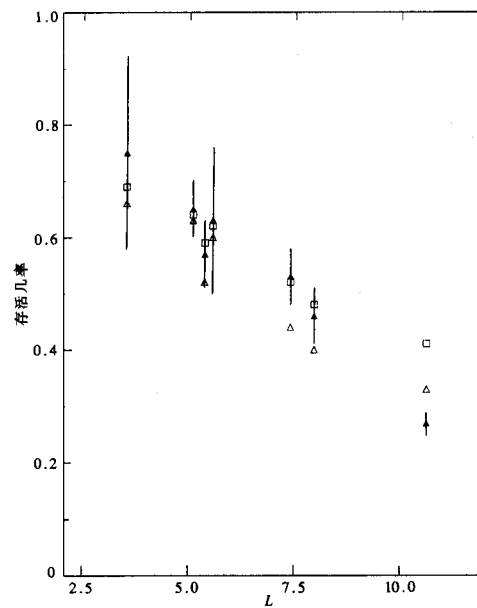


图 5 当 string 寿命为 $0.2\text{fm}/c$ 时, p-A 和 A-A 碰撞中 J/ψ 的存活几率

□只包含核吸收时的计算结果,

△包含核吸收和同行粒子吸收时的计算结果.

表1 在p-A和A-A碰撞中的**b**值

	p-Cu	p-W	p-U	O-Cu	O-U	S-U	Pb-Pb
<i>b</i>	3.2	4.57	4.96	5.21	6.97	7.49	9.53

接着把J/ψ和同行粒子的相互作用加入GCP,模拟了同时考虑J/ψ的核子吸收和J/ψ与同行粒子的相互作用后,J/ψ在强子-核和核-核碰撞中的产生和吸收过程.这时 $\sigma_{\text{abs}(N)}$ 的取值不变,仍为7mb,J/ψ和同行粒子的作用截面取为 $\sigma_{\text{abs}(co)} = 2\text{mb}$.计算结果如图4中三角形所示.从图中可以看到,同行粒子在A-A碰撞中和J/ψ的作用要大于它们在p-A碰撞中的作用.但是加入同行粒子的作用后,J/ψ的存活几率和只考虑核子吸收时的模拟结果并没有本质的区别.把强子环境中J/ψ的核子吸收和同行粒子对J/ψ的相互作用机制结合起来还是不能解释重的A-A碰撞过程.在上述情况中,string的寿命是 $1\text{fm}/c$.在GCP中string的碎裂是核-核碰撞产生其它粒子的来源,所以如果适当减少string的寿命,核子-核子碰撞中产生次级粒子的时间就会相对地早一些.因此同行粒子和J/ψ的相互作用几率就要大一些.图5是当string的寿命取为 $0.2\text{fm}/c$ 时GCP的模拟结果.可以看到,此时同行粒子对J/ψ的吸收作用要大的多.也就是说,string的碎裂时间的长短对结果是有影响的.最后尝试着减少 $\sigma_{\text{abs}(N)}$ 到6mb,加大 $\sigma_{\text{abs}(co)}$ 到3mb.这时,同行粒子的吸收所占比例略有增大,但对于总的J/ψ压低所得结果与图4是类似的.

5 总结

正如GCP的设计者的初衷,GCP中级联部分是独立的,可以由使用者加入自己所需要的物理.在文章中尝试着用GCP产生器来直接模拟J/ψ的产生和吸收过程.首先把纵向激发的受伤核子模型加到GCP中,Monte Carlo模拟的结果显示GCP对核子-核子碰撞中粒子的多重数分布,快度分布,产生粒子的横动量分布等可观测量均能给出很好的描述.另外按照实验条件模拟了S-U的碰撞过程,一些宏观观测量的统计结果和实验数据吻合.在此基础上,把强子环境中引起J/ψ压低的两种可能的机制,即J/ψ的核吸收和同行粒子对J/ψ的吸收加入GCP中,模拟了高能重离子碰撞中无偏情况下J/ψ的产生和吸收过程.可以看到模拟的结果和p-A和A-A碰撞中J/ψ产生的实验数据符合得很好,只有Pb-Pb碰撞除外.这说明强子环境中的核吸收机制可以很好地解释除Pb-Pb碰撞外的所有核-核碰撞过程.但是即使把强子环境中的核吸收和同行粒子对J/ψ的相互作用机制结合起来依旧不能解释Pb-Pb碰撞过程中J/ψ的压低,也就是说Pb-Pb碰撞过程需要有新的机制来解释,这也许预示着夸克-胶子等离子体形成的可能.

感谢张晓飞和台安在本工作过程中给予的大量讨论和帮助.

参 考 文 献

- 1 Matsui T, Satz H. Phys. Lett., 1986, B178:416; Matsui T. Z. Phys., 1988, C38:245
- 2 The NA38 Collaboration. Z. Phys., 1988, C38:17; Phys. Lett., 1988, B220:471; Phys. Lett., 1991, B255:

- 255; Nucl. Phys., 1992, **A544**:209c
- 3 Gonin M et al (NA50). Report at Quark Matter 1996, Heidelberg, Germany
 - 4 Fleuret F (NA50 Collab.). in Proceedings of the 32nd Rencontres de Moriond, QCD and High Energy Hadronic Interactions, Les Arcs, France, 1997
 - 5 Morel C et al. Phys. Lett., 1990, **B252**:505; Aldel D M et al. Phys. Rev. Lett., 1991, **66**:133
 - 6 Blaizot J-P, Ollitrault J-Y. Phys. Rev. Lett., 1996, **77**:1703
 - 7 Gavin S, Vogt R. Phys. Rev. Lett., 1997, **78**:1006
 - 8 Tai A, Chao W Q, Yao X X. hep-ph/9701207
 - 9 Kharzeev D, Satz H. Phys. Lett., 1996, **B366**:316; Kharzeev D, Lourenco C, Nardi M et al. hep-ph/9612217
 - 10 Pang Y. In: Pang Y, Qiu J, Qiu Z ed. Proceedings of CCAST Symposium/Workshop on Particle Physics at Fermi Scale. New York: Gordon Breach, 1993. 451
 - 11 Cassing W, Bratkovskaya E L. Nucl. Phys., 1997, **A623**:570
 - 12 Pang Y. In: kahana D E, Pang Y ed. RHIC Summer Study 1996: Theory Workshop on Relativistic Heavy Ion Collisions July 8-19, 1996 at Brookhaven National Laboratory. 1996; 193
 - 13 Cheuk-Yin Wong. Introduction to High Energy Heavy Ion Collisions. World Scientific Singapore, 29
 - 14 Zhao Weiqin, Sorensen S P. High Energy phys. and Nucl. Phys. (in Chinese), 1993, **17**(5):476 (赵维勤, Sorensen S P. 高能物理与核物理, 1993, **17**(5):476)
 - 15 Liu Bo, Zhao Weiqin. High Energy phys. and Nucl. phys. (in Chinese), 1994, **18**(7):652—657 (刘波, 赵维勤. 高能物理与核物理, 1994, **18**(7): 652—657)
 - 16 Liu Bo, Zhao Weiqin. High Energy phys and Nucl. Phys. (in Chinese), 1994, **18**(12):1096—1101 (刘波, 赵维勤. 高能物理与核物理, 1994, **18**(12):1096—1101)

Monte Carlo Simulation of J/ψ Suppression Based on GCP Code*

Yao Xiaoxia^{1,2,3} Zhao Weiqin^{1,2,1)} Pang Yang⁴

1(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

2(CCAST (World Laboratory), Beijing 100080)

3(Department of Physics, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016)

4(Department of Physics, Columbia University, Newyork)

Abstract The production and absorption of J/ψ at SPS energy in p-A and A-A collisions have been simulated by using the General Cascade Program (GCP). Nucleon absorption mechanism and comover absorption mechanism are considered to investigate the J/ψ suppression. The results agree well with experimental data of J/ψ production, except for the data in Pb-Pb collision.

Key words J/ψ suppression, GCP, nucleon absorption of J/ψ , comover

Received 24 April 1998

* Supported by the National Natural Science Foundation of China and Hebei Natural Science Foundation

1) Guest Professor of Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences