

文章编号: 1000-5862(2020)06-0649-05

大型强子对撞机上鹰快度及能量估计研究

龚雄涛^{1,2}

(1. 华中师范大学物理科学与技术学院 湖北 武汉 430079; 2. 湖北职业技术学院 湖北 孝感 432100)

摘要: 利用 Mathematica 软件研究了相对论重离子对撞中末态带电强子鹰快度分布谱, 并与大型强子对撞机(LHC)上 2.76 TeV 及 5.02 TeV 铅-铅(Pb+Pb)对撞实验数据进行拟合, 编写数值算法程序抽取了最中心碰撞流体演化纵向膨胀加速度参数. 为了研究纵向加速度效应及流体黏滞效应对夸克胶子等离子早期能量密度估计的影响, 依据 Bjorken 能量密度估计模型, 讨论了考虑黏滞效应修正的能量密度估计模型, 发现黏滞效应会使对碰撞早期的能量密度估计增大.

关键词: Mathematica; 纵向加速粘滞流体力学; 鹰快度分布; 能量密度估计

中图分类号: O 572.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2020.06.18

0 引言

Mathematica 软件作为一款由美国 Wolfram 生产的数学分析软件, 可以对众多数理问题进行解析及数值计算, 其界面友好、使用简单, 在计算机科学、数学、物理过程仿真等方面得到了广泛应用^[1-2]. 根据武汉-布达佩斯(Wuhan-Budapest)流体力学课题组得到的黏滞流体力学微扰近似解析解^[3-6], 利用 Mathematica 软件, 结合粒子分布布达-隆德(Buda-Lund)模型^[7]编写了重离子末态鹰快度谱分布; 将模型与大型强子对撞机(Large Hadron Collider, LHC)上的鹰快度实验结果进行比较, 利用理论和程序相结合的方法较好地描述了 $\sqrt{s_{NN}}=2.76$ TeV 铅-铅(Pb+Pb)对撞^[8]、 $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV 铅-铅对撞^[9]和 $\sqrt{s_{NN}}=5.44$ TeV 氙-氙(Xe+Xe)对撞^[10]最中心(Centrality 为 0%~5%)对撞带电轻强子鹰快度分布($dN/d\eta_s$)实验结果; 随后, 编写程序将理论与实验进行对比, 抽取出铅-铅及氙-氙对撞的纵向加速度参数 λ^* ; 最后, 基于比约肯(Bjorken)能量密度估算模型^[11], 利用 Mathematica 软件分析黏滞效应对重离子对撞早期能量密度估计的修正, 讨论了重离子对撞早期 τ_0 时刻能量密度 ε_0 对流体黏滞的依赖.

1 流体力学理论分析

1.1 流体力学解析解及带电强子鹰快度分布

下面简单介绍了武汉-布达佩斯(Wuhan-Budapest)流体力学合作组得到的相对论流体力学理论^[5,12-13], 其基本公式及推导参见文献[5,12-13].

考虑一个化学势为零($\mu_i=0$)的膨胀系统, 度规为 $g_{\mu\nu}=\text{diag}(1, -1, -1, -1)$, 此时, 流体力学连续性方程及能动量守恒方程为

$$\partial_\mu(nu^\mu)=0, \quad \partial_\mu T^{\mu\nu}=0,$$

其中 n 为守恒电荷, $T^{\mu\nu}$ 为能量动量张量. 在朗道框架(Landau Frame)下, 存在黏滞项的能量动量张量 $T^{\mu\nu}$ 可以表示为

$$T^{\mu\nu}=\varepsilon u^\mu u^\nu-P\Delta^{\mu\nu}+\Pi^{\mu\nu},$$

其中 u^μ 为流的速度场, 满足归一化条件 $u_\mu u^\mu=1$, ε 为能量密度, P 为压强, 黏滞张量 $\Pi^{\mu\nu}=\pi^{\mu\nu}-\Delta^{\mu\nu}\Pi$, 其中 Π 为体积黏滞, $\pi^{\mu\nu}$ 为剪切黏滞张量. 投影算符 $\Delta^{\mu\nu}=g^{\mu\nu}-\Pi u^\mu u^\nu$ 且满足 $\Delta^{\mu\nu}u_\mu=0$. 在上述守恒方程中, 能量密度 ε 及压强 P 通过状态方程(Equation of State, EoS)联系, 写作 $\varepsilon=\kappa P$, 其中 κ 为温度的函数, 为了方便起见, 这里设 κ 为一常数.

基于热力学第二定律, 可知纳维-斯托克斯近似(Navier-Stokes Approximation)下, 体积黏滞及剪

收稿日期: 2020-07-11

基金项目: 国家自然科学基金(11435004), 中国高校产学研创新基金(2019ITA03017)和湖北省教育科学规划课题(2019GB152)资助项目.

作者简介: 龚雄涛(1973-), 男, 湖北应城人, 副教授, 博士, 主要从事教育信息技术和粒子物理的研究. E-mail: xgzygxt@163.com

切黏滞满足以下线性关系^[14-15]:

$$\Pi = -\zeta\theta \pi^{\mu\nu} = 2\eta\sigma^{\mu\nu},$$

其中 ζ 为体积黏度 η 为剪切黏度,且这 2 个系数均为正数. 为了不引起歧义,在本文中,剪切黏度为 η ,时空快度为 η_s ,粒子末态横快度为 η_p .

在伦德勒坐标系(Rindler coordinate)中,通过求解能动量守恒方程,可得到包含剪切黏滞效应及体积黏滞效应的流体力学微扰解(详细推导见文献[5]). 扰动解的表达式为

$$T(\tau, \eta_s) = T_0(\tau_0/\tau)^{(1+\lambda^*)/\kappa} \left(\exp(-\lambda^*(1-1/\kappa)\eta_s^2/2) + R_0^{-1}(2\lambda^* + \exp(-\lambda^*(1-1/\kappa)\eta_s^2/2) - (2\lambda^* + 1)(\tau_0/\tau)^{(\kappa-\lambda^*-1)/\kappa})/(\kappa-1) \right), \quad (1)$$

其中 T_0 是在固有时刻为 τ_0 时的温度大小,固有时为 $\tau = \sqrt{t^2 - r^2}$,时空快度 $\eta_s = 0.5 \ln((1+r/t)/(1-r/t))$, r 为空间坐标, λ^* 为一无量纲的纵向加速度参数 $R_0 = \Pi_d/(T_0\tau_0)$ 为雷诺数 $\Pi_d = (\zeta/s + 4\eta/(3s))$ 是黏滞率 s 为系统的熵密度. $T(\tau, \eta_s)$ 是一个简单的 $(1+3)$ 维时空的 $(1+1)$ 维标度解,考虑了纵向加速度效应以及黏滞效应的共同作用. 此解析解与多个解析解的结果相吻合,当 $\lambda^* = 0$ 且 $R_0^{-1} = 0$ 时,解与 Hwa-Bjorken 解析解一致^[11]; 当 $\lambda^* = 0$ 且 $R_0^{-1} \neq 0$ 时,得到 1 阶黏滞的 Bjorken 解^[13]; 当 $\lambda^* \neq 0$ 且 $R_0^{-1} = 0$ 时,得到一个与 CNC 解析解中案例(c)一致的解析解. 此外,此解析解还表明,当存在纵向加速膨胀行为时,系统的整体冷却速率大于 Bjorken 的匀速膨胀情况;但是,体积黏滞和剪切黏滞的存在会使得系统冷却速率小于理想流体情况.

根据以上解析解及 Cooper-Frye 冷却公式,计算得到一个末态强子得横快度分布谱^[3,5] 为

$$dN/d\eta_p = N_0 \int_{-\infty}^{\infty} d\eta_s \int_0^{\infty} dp_T \sqrt{1-m^2/(m_T^2 \cosh^2 y)} m_T p_T \cdot \cosh((\lambda^*+1)\eta_s - y) \exp\left(-\frac{m_T}{T(\tau, \eta_s)} \cosh((\lambda^*+1)\eta_s - y)\right) \left(\tau_f \cosh^{(1-\lambda^*)/\lambda^*}(\lambda^* \eta_s) + \frac{1+\lambda^*}{T^3(\tau, \eta_s)} \cdot \left(\frac{\eta}{3s}(p_T^2 - 2m_T^2 \sinh^2((\lambda^*+1)\eta_s - y)) + \frac{\zeta}{5s}(p_T^2 + m_T^2 \sinh^2((\lambda^*+1)\eta_s - y))\right)\right),$$

其中 N_0 为归一化常数 $m_T = \sqrt{p_T^2 + m^2}$ 为横质量, p_T 为横动量 m 为轻强子平均质量 y 为末态强子快度,快度 y 及横快度 η_p 满足 Jacobian 关系.

1.2 含黏滞初态能量密度估计模型

下面介绍在纵向膨胀流体力学框架下推导得出的含黏滞效应初态能量密度估计模型.

在文献[11]中,给出初始能量密度估计唯象公式为

$$\varepsilon_{Bj} = \frac{1}{S_{\perp} \tau_0} \frac{d\langle E \rangle}{d\eta_p} = \frac{\langle E \rangle}{S_{\perp} \tau_0} \frac{dN}{d\eta_p} \Big|_{y=y_0},$$

其中 S_{\perp} 为中心快度的横向碰撞平面, τ_0 为夸克胶子等离子体在形成时的固有时,在 Bjorken 估计中通常设 $\tau_0 = 1 \text{ fm}/c$,但是 τ_0 的确切值仍然是一个有待研究的问题. 对于核-核心碰撞,横平面为 $S_{\perp} = \pi R^2$, R 为原子核半径, R 与核内核子数有关,通常写作 $R = 1.18 A^{1/3} \text{ fm}$,碰撞系统的体积微元为 $dV = (R^2 \pi) \tau d\eta_s$,所包含的能量微元写作 $dE = \langle m_T \rangle dN$,其中 $\langle m_T \rangle$ 来自 π^{\pm} 、 K^{\pm} 及质子 p^{\pm} (反质子) 的平均横动量.

对于理想流体, CNC 模型将纵向膨胀流体的快度漂移及体积变化考虑进来,给出一个考虑纵向膨胀作用的初态能量密度唯象公式^[16] 为

$$\varepsilon_{\text{CNC}} = \varepsilon_{Bj} \frac{dy}{d\eta_s} \frac{d\eta_s^f}{d\eta_s^i} = \varepsilon_{Bj} (2\lambda - 1) (\tau_f/\tau_0)^{\lambda-1},$$

其中上标 i 和 j 分别表示初始状态和最终状态流体的空间快度, y 为在冻出(Freeze-out)时强子的快度 $\lambda = \lambda^* + 1$.

受到 CNC 模型对于初态能量密度修正方式的启发^[12,17],对于状态方程发生改变的纵向膨胀流体,文献[12]考虑了压强非均匀膨胀的影响. 根据流体力学解析解,可知末态及初态的压强比为 $(\lambda - 1)(1 - c_s^2)$,其中 c_s 为声速. 修正后的 CNC 能量密度唯象公式为

$$\varepsilon_{\text{CNC}}^{\text{corr}} = \varepsilon_{Bj} (2\lambda - 1) (\tau_f/\tau_0)^{\lambda-1} (\tau_f/\tau_0)^{(\lambda-1)(1-c_s^2)}.$$

对于含黏滞流体,由于剪切黏滞及体积黏滞会影响压强演化((1)式),导致能量会向横向及纵向的流元进行沉积,最终使得能量产生损失(或所谓的耗散). 因此,若同时考虑加速度和黏性效应,则能量密度估计可做如下假设

$$\varepsilon_{\text{CNC}}^{\text{viscous}} = \varepsilon_{Bj} (2\lambda - 1) (\tau_f/\tau_0)^{\lambda-1} (\tau_f/\tau_0)^{(\lambda-1)(1-c_s^2)} \cdot (1 + (2\lambda - 1) R_0^{-1} (1 - (\tau_0/\tau_f)^{(\kappa-\lambda)/\kappa})/(\kappa - 1))^{\kappa+1}. \quad (2)$$

观察(2)式的形式可以发现:(i) 当 $\lambda \rightarrow 1$ 且黏滞系数比 $\eta/s = \zeta/s = 0$ 时,(2)式回归到 Bjorken 能量密度估计模型;(ii) 当 $\lambda > 1$ 且黏滞系数比 $\eta/s = \zeta/s = 0$ 时,(2)式回归到 CNC 能量密度估计模型;(iii) 当 $\lambda > 1$,黏滞系数比 $\eta/s = \zeta/s = 0$ 且状态方程为任意情形时,(2)式回归到修正后的 CNC 能量密度估计模型.

2 利用 Mathematica 软件进行理论-实验综合分析

利用 Mathematica 软件,首先对纵向流体力学末态谱和 LHC 实验数据进行对比,抽取出铅-铅及氩-氩最中心对撞的纵向加速度参数;随后计算在

黏滞性影响下 Bjorken 模型及 CNC 模型中初态能量密度估计方式所需的修正程度.

2.1 利用 Mathematica 软件抽取纵向加速度参数

利用 Mathematica 软件,可以较为快速地从实验数据中抽取纵向加速度参数 λ^* ,步骤如下:

(i) 首先,利用 ReadList[“path/of/data” < > #,

{ Number ,Number ;...}]& 函数来导入所需数据并命名;然后,利用 Flatten[] 及 Table[] 函数对数据进行整理及归类,这里利用 Table[] 函数挑选出“数据”及其“误差”;最后,利用 ErrorBarPlots 包中的 ErrorListPlot[] 函数分别画出中心度为 0% ~ 5% 的铅-铅 2.76 TeV、铅-铅 5.02 TeV 及氙-氙 5.44 TeV 对撞的带电粒子赝快度实验数据(见图 1).

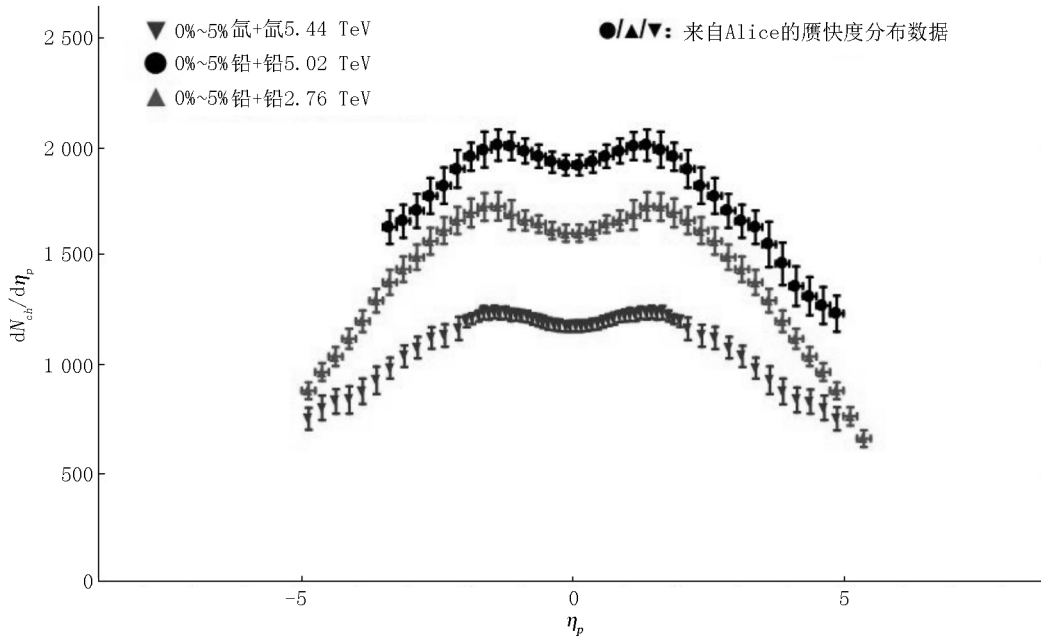


图 1 利用 Mathematica 软件导入 ALICE 的赝快度实验数据

(ii) 在 Mathematica 软件中构建 4 个函数用于计算强子赝快度谱,分别为温度函数 $T(\tau, \eta_s)$ 、快度 y 与赝快度 η_p 雅可比变换函数、末态粒子快度分布函数 dN/dy 以及积分后赝快度分布函数 $dN/d\eta_p$. 模型中其他物理参数如表 1 所示. 为了简便,模型中归一化因子 N_0 是碰撞最中心粒子多重数,并假设声速 c_s 在不同碰撞系统中相同, $\langle m \rangle$ 是带电粒子 (π^\pm, K^\pm, p^\pm) 的平均质量,由实验数据进行加权平均得到,强子冻出温度为 $T_f = 0.14 \text{ GeV}$,冻出时间为 $\tau_f = 8 \text{ fm/c}$,本模型未考虑强子化及强子共振衰变过程. 此时,根据以上参数抽取 2.76 TeV Pb + Pb, 5.02 TeV Pb + Pb 和 5.44 TeV Xe + Xe 最中心对撞纵向加速度参数 λ ,不再需要任何其他参数.

(iii) 利用 Mathematica 软件中的数值积分 NIntegrate[Func#] 函数,可以对末态谱进行时空快度 η_s 及横动量 p_T 积分. 其中时空快度积分区域为 $-5.0 < \eta_s < 5.0$ (确保满足扰动条件 $\lambda^* \eta_s \ll 1.0$),横动量积分范围为 $0.0 < p_T < 10.0 \text{ GeV}$. 随后,利用 Table[Func#] 函数作循环寻找满足理论-模型对比最小方差 σ ,并寻找最小 Chi-Square,记录对应的纵向加速度参数 λ . λ 的抽取结果如表 2 所示. 随后,利用抽取出的纵向加速度参数,得到模型与实验数

据做对照的赝快度分布谱如图 2 所示.

表 1 唯象模型与实验比较采用的参数取值

| 参数 | 取值 |
|-----------------------------|--|
| 轻强子平均质量 $\langle m \rangle$ | $0.22 \text{ GeV}^{[9-11]}$ |
| 声速平方 $c_s^2(1/\kappa)$ | $1/7^{[12]}$ |
| 剪切黏滞率 η/s | $1/(2\pi)^{[14]}$ |
| 体积黏滞率 ζ/s | $0.015^{[15]}$ |
| 强子冻出时间 τ_f | 8 fm/c |
| 强子冻出温度 T_f | 0.14 GeV |
| 归一化常数 $N_0^{[9-11]}$ | $N_{\text{Xe}}^{5.44} = 1\,167, N_{\text{Pb}}^{2.76} = 1\,615,$ $N_{\text{Pb}}^{5.02} = 1\,929$ |

2.2 利用 Mathematica 软件计算初态能量密度估计模型在不同效应下的修正率

在 Mathematica 软件中构建一个能量密度依赖函数 EnergyDensity[#] 对 Bjorken 能量密度估算模型、CNC 能量密度估算模型以及本文提出的修正模型进行对比,通过计算,不同的物理效应对早期能量密度估计的修正结果如表 2 所示. 由表 2 可以发现,在含纵向加速度效应情形下,对比 Bjorken 理想流体力学估计模型,有大约 20% 的估算增强;而对比 CNC 模型,黏滞效应的引入使得估算还需要上调约 6.0%.

通过 Mathematica 软件中的条形图可以画出不同效应对初态能量密度估计的影响(见图 3).

表 2 能量密度估计模型的修正结果

| $\sqrt{S_{NN}}$ | 对撞系统 | 纵向加速度参数 λ | $\varepsilon_{CNC}^{corr}/\varepsilon_{Bj}$ | $\varepsilon_{Viscos}^{corr}/\varepsilon_{Bj}$ | 加速度效应 修正强度 /% | 黏滞效应 修正强度 /% |
|-----------------|------|-------------------|---|--|------------------|-----------------|
| 2.76 TeV | 铅-铅 | 1.035 ± 0.003 | 1.225 ± 0.002 | 1.285 ± 0.022 | 22.5 | 6.0 |
| 5.02 TeV | 铅-铅 | 1.032 ± 0.002 | 1.204 ± 0.012 | 1.263 ± 0.015 | 20.4 | 5.9 |
| 5.44 TeV | 氙-氙 | 1.030 ± 0.003 | 1.190 ± 0.021 | 1.248 ± 0.022 | 19.0 | 5.8 |

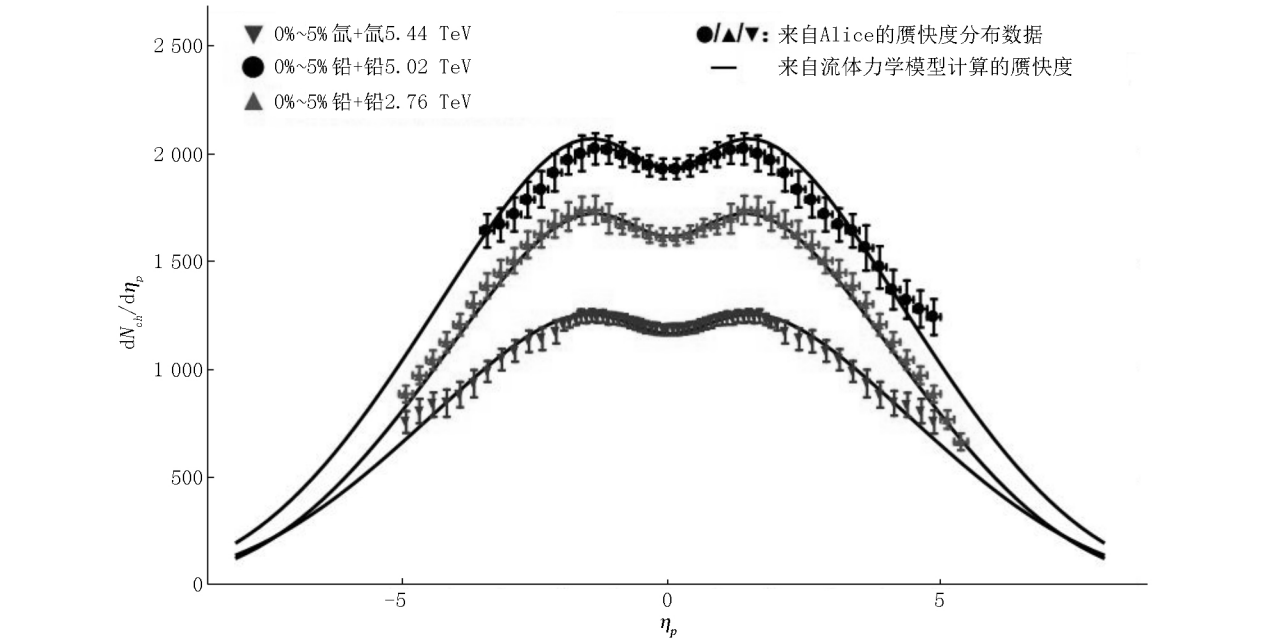
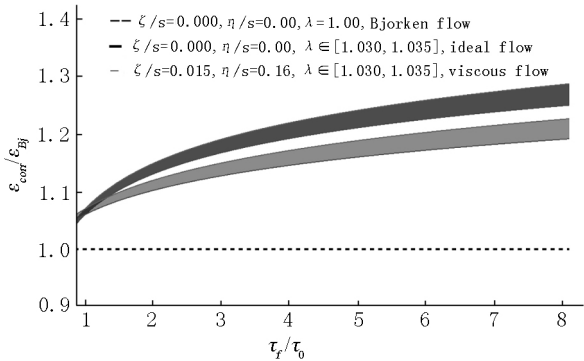


图 2 流体力学模型抽取 ALICE 实验的纵向加速度参数 λ



浅色带为考虑加速度效应的修正, 深色带为考虑黏滞及加速度效应的修正。

图 3 利用 Mathematica 软件分析不同模型的修正比率

3 结论和讨论

综上所述,本文利用 Mathematica 软件中的数据
处理及数学计算功能,基于纵向加速黏滞流体力学
模型及 LHC 能区 Pb + Pb 碰撞和 Xe + Xe 碰撞实验
数据,给出了利用程序分析流体力学物理理论及实
验数据的过程.利用数值算法程序分析了带电强子
的赝快度分布,抽取了不同碰撞系统的纵向加速度
参数.关于对碰撞早期能量密度对纵向加速度及黏
滞性的依赖进行了数值分析,分析了含流体黏滞效
应的能量密度估计模型,讨论了黏滞效应对能量密
度估计的增强比率.

Mathematica 软件在数据导入和数据分析上简
单易行、语法简洁、可读性强.相比其他程序(如 C++
、Python 等)编写具备更好的数学符号运算功能,程
序集数据导入、数据处理、数据清洗、数据分析、数
值拟合和图形输出于一体.对于分析简单的末态强
子谱具有良好的优势.缺点是在积分时若步长过小则
会导致计算速度慢,牺牲了时间成本换取计算精度
的微弱提升.

在物理上,通过分析发现,强子的末态分布对流
体的纵向演化非常敏感;同时,由于流体自身的黏滞
性,会使得流体的流动减速,而此时流体的纵向加速
效应补偿了这部分减速效应.这 2 种相反的行为影
响强耦合 QCD 物质的热力学演化.与 Bjorken 模型
和 CNC 模型相比,黏度效应导致对早期的能量密度
估计应当增强为 $(5.0 \pm 1.0)\%$.

此外,值得注意的是,在利用 Mathematica 软件
对流体力学唯象理论及实验数据进行对比分析时,
作了许多简化假设.本研究目标只是为了研究:(i)
Mathematica 软件结合纵向加速度流体力学模型如
何描述末态强子赝快度分布,(ii)合理地利用数值
算法程序寻找初始能量密度估计对黏性效应的依
赖.为了使本研究更加接近实际的实验情形,还必须
考虑以下内容:初态涨落、QGP 介质横向流动、来
自格点 QCD 的状态方程、超曲面冷却条件、强子相
共振衰变等.这些重要的内容将在今后的研究中利用

完整的(3+1)维流体力学模型进行深入分析.

4 参考文献

- [1] 李汉龙, 缪淑贤, 韩婷. Mathematica 基础及其在数学建模中的应用 [M]. 2 版. 北京: 国防工业出版社, 2016.
- [2] Cliff H, Kelvin M, Michael M. Hands-on start to Wolfram mathematica: and programming with the Wolfram language [EB/OL]. [2020-06-11]. https://download.csdn.net/download/qq_39599295/11221364.
- [3] 江泽方. 相对论流体力学中含纵向加速流效应的解析解及其在 RHIC 以及 LHC 上的应用研究 [D]. 武汉: 华中师范大学, 2019.
- [4] Csörgo T, Kasza G, Csanád M, et al. New exact solutions of relativistic hydrodynamics for longitudinally expanding fireballs [EB/OL]. [2020-06-11]. <https://arxiv.org/pdf/1805.01427.pdf>.
- [5] Jiang Zefang, Yang Chunbin, Ding Chi, et al. Pseudo-rapidity distribution from 147 a perturbative solution of viscous hydrodynamics for heavy ion collisions at RHIC and LHC [EB/OL]. [2020-06-11]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1137/42/12/123103>.
- [6] Gong Xiongtao, Jiang Zefang, She Duan, et al. Viscous hydrodynamic description of the pseudo-rapidity density for Pb + Pb and Xe + Xe collisions at the LHC [EB/OL]. [2020-06-11]. https://www.researchgate.net/publication/333051566_Viscous_Hydrodynamic_Description_of_the_Pseudorapidity_Density_and_Energy_Density_Estimation_for_PbPb_and_XeXe_Collisions_at_the_LHC.
- [7] Csörgo T, Lörstad B. Bose-Einstein correlations for three-dimensionally expanding, cylindrically symmetric, finite systems [J]. Phys Rev C, 1996, 54(3): 1390-1403.
- [8] Adam J. Centrality evolution of the charged-particle pseudorapidity density over a broad pseudorapidity range in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV [EB/OL]. [2020-06-11]. <http://cds.cern.ch/record/2118086/files/2015-010.pdf>.
- [9] Adam J. Centrality dependence of the pseudorapidity density distribution for charged particles in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV [EB/OL]. [2020-06-11]. <https://arxiv.org/abs/1304.0347>.
- [10] Acharya Shreyasi. Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV [EB/OL]. [2020-06-11]. <https://arxiv.org/pdf/1805.04432.pdf>.
- [11] Acharya Shreyasi. Centrality and pseudorapidity dependence of the charged-particle multiplicity density in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV [EB/OL]. [2020-06-11]. <https://arxiv.org/pdf/1805.04432.pdf>.
- [12] Bjorken J D. Highly relativistic nucleus-nucleus collisions: the central rapidity region [J]. Phys Rev D, 1983, 27(1): 135-140.
- [13] Jiang Zefang, Yang Chunbin, Csanád M, et al. Accelerating hydrodynamic description of pseudorapidity density and the initial energy density in P + P, Cu + Cu, Au + Au, and Pb + Pb collisions at energies available at the BNL Relativistic Heavy Ion Collider and the CERN Large Hadron Collider [J]. Phys Rev C, 2018, 97: 64906.
- [14] Muronga A. Causal theories of dissipative relativistic fluid dynamics for nuclear collisions [J]. Phys Rev C, 2004, 69: 34904.
- [15] Song Huichao, Bass Steffen A, Heinz Ulrich, et al. 200 A GeV Au + Au collisions serve a nearly perfect quark-gluon liquid [J]. Physical Review Letters, 2011, 106(19): 192301.
- [16] Meyer H B. A calculation of the bulk viscosity in SU(3) gluodynamics [J]. Physical Review Letters, 2008, 103: 162001.
- [17] Csörgo T, Nagy M I, Csanád M. A new family of simple solutions of perfect fluid hydrodynamics [J]. Phys Lett, 2008, B663: 306.

The Study on the Estimation of Pseudorapidity Distribution and Energy Density on the Large Hadron Collider

GONG Xiongtao^{1,2}

(1. College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan Hubei 437600, China;

2. Hubei Vocational and Technical College, Xiaogan Hubei 432100, China)

Abstract: Using the Mathematica software, the pseudo-rapidity distribution for charged particles is investigated in the relativistic heavy ion collisions from an accelerating hydrodynamic model. Such hydrodynamic model describes the pseudo-rapidity distribution data at 2.76 TeV, 5.02 TeV (Pb + Pb) and 5.44 Xe + Xe collisions well and extracts the longitudinal acceleration parameters for the most central collision. Based on the Bjorken model, the longitudinal acceleration effect and viscosity effect dependence for the medium initial energy density estimation are investigated and the results show that the viscosity effect enhances the estimate of the initial energy density.

Key words: Mathematica; longitudinal acceleration viscous fluid mechanics; pseudorapidity distribution; energy density estimation

(责任编辑: 冉小晓)