

快报

对脉冲近似运动学修正的研究

马伯强 孙信

(北京大学)

摘 要

本文讨论了对脉冲近似进行总能量守恒运动学修正所带来的影响,指出此运动学修正对解释轻子核子深部非弹散射和轻子原子核深部非弹散射中的奇异现象都起着很重要的作用. 由此可解释 Bjorken 标度不变性破坏现象及 EMC 效应.

脉冲近似是当前普遍采用的处理高能轻子与核子及原子核深部非弹散射的基本方法. 然而,实验发现,无论是在轻子与核子的深部非弹实验中,还是在轻子与原子核的深部非弹实验中,都存在着一些脉冲近似未能给出的奇异效应:

(1) 轻子核子散射中标度不变性的破坏: 脉冲近似预言,在 $Q^2 \rightarrow \infty, \nu \rightarrow \infty, \frac{Q^2}{2M\nu}$ 有限时,核子的结构函数 $F_1(Q^2, \nu), F_2(Q^2, \nu)$ 将只是 Bjorken 变量 $x = \frac{Q^2}{2M\nu}$ 的函数. 实验发现, Bjorken 标度不变性只是近似地成立,结构函数 $F_1(Q^2, \nu), F_2(Q^2, \nu)$ 具有 Bjorken 标度下的 Q^2 相关性. 人们普遍认为,这种标度不变性的破坏是对 QCD 的支持. 然而,近几年的研究表明^[1], QCD 领头修正项既不能解释中小 Q^2 区域结构函数数据,也不能解释 Callan-Gross 比率 $R = \frac{\sigma_L}{\sigma_T}$ 的行为. 即 QCD 的计算虽与实验定性符合,但在定量的符合上还存在问题.

(2) 轻子原子核散射中的 EMC 效应: 近几年的实验表明^[2]. 轻子原子核散射的平均每核子散射截面与轻子核子散射的截面之比与早期脉冲近似的预言^[3] 不相符. 现人们普遍认为,这是核内核子的夸克动量分布与自由核子不同的证据^[4]; 或者认为是核内核子间的结合效应改变了核子的性质^[5]. 由此,出现了很多的模型,可以解释实验数据的粗糙特征. 但实验现象很复杂,不同类型轻子数据之间差别较大,特别是中微子数据没有出现在 x 较小处海夸克增加的任何证据^[6],这使以上模型面临困难.

我们指出,现有的关于以上奇异效应的理论工作,基本上都是建立在脉冲近似图象的基础上的. 我们提出一个问题: 脉冲近似本身只是一个近似的图象,以上实验中的奇异现象会不会是因为脉冲近似图象太粗糙而产生的呢?

在最近的工作中,我们对脉冲近似进行了运动学修正^[7,8]. 脉冲近似假定: 在深部非弹散射中,轻子与靶的散射可看成轻子与组成靶粒子的各个粒子之间散射的非相干迭加

并且;
量守恒
似乎大
部分能
会对计
子的能
手
所获得

其中,
能量,
子的能
散射中
明,事
我
标度变

$Q^2 =$
 $\nu \sim \nu$

当 $\nu \rightarrow$
论^[9]可
动学修

以
影响,正
的讨
我

深部非
未能给
近似图
提出的
解决的

下
(1

好的

我们

要

并且,轻子的所有能量损失和动量损失都转移给了被撞的粒子,即轻子与被撞粒子之间能量守恒。然而,事实上的守恒条件应是整个反应过程的总能量守恒,脉冲近似所做的假定似乎太强。我们不能期望所有的轻子能量损失都给了孤立的被撞粒子,或多或少应有一部分能量在轻子与靶作用的过程中就转移给了其余的粒子。过去认为,这些能量损失不会对计算结果有较大影响。下面,我们以轻子原子核反应为例,来说明这些转移给别的粒子的能量损失数值虽小,但带来的影响却非常大。

我们利用整个反应过程的总能量和总动量守恒条件,可求得在散射过程中被撞核子所获得的能量为

$$v' = v + M - \varepsilon - \sqrt{M^2 + k^2}.$$

其中, v 为轻子的能量损失, M 为核子质量, ε 为将一核子从一原子核内取出所需的平均能量, k 为核内核子的运动动量。可以看出, $v' \approx v$, 即被撞核子所获得能量不等于轻子的能量损失。我们指出, $v - v'$ 只有几十个 MeV, 过去认为,在轻子原子核深部非弹散射中,能量的量级为 GeV, 几十个 MeV 不会带来大的影响。我们下面的分析将表明,事实并不是这样。

我们知道,如果入射轻子把能量损失和动量损失都给了被撞的单个核子,这时核子的

标度变量为 $x = \frac{Q^2}{2Mv}$ 。如果被撞核子所获得的能量为 v' , 所获得四动量转移的平方为 $Q'^2 = q^2 - v'^2$, 则此时核子的标度变量为 $x' = \frac{Q'^2}{2Mv'} = \frac{q^2 - v'^2}{2Mv'}$ 。如果我们认为 $v' \approx v$, 则可推得

$$x' - x = \frac{q^2 - v'^2}{2Mv'} - \frac{q^2 - v^2}{2Mv} \approx \frac{v - v'}{M}.$$

当 $v - v'$ 为几十个 MeV 时, $x' - x$ 可为百分之几。由 EMC 效应已有模型的有关讨论^[6]可以得知, x' 比 x 大百分之几是可以给出所观测的奇异效应。这说明,我们仅用运动学修正就可以解释 EMC 效应。

以上,我们定性分析了轻子原子核深部非弹散射中总能量守恒运动学修正所带来的影响,定量的详细讨论可参见文献[7]。对轻子核子深部非弹散射中总能量守恒运动学修正的讨论可参见文献[8]。

我们在文献[7]和[8]中的工作表明,仅仅是轻子核子深部非弹散射中和轻子原子核深部非弹散射中总能量守恒所带来的运动学修正,就足以解释实验中所发现的脉冲近似未能给出的奇异效应。这说明,标度不变性的破坏以及 EMC 效应很有可能是因为脉冲近似图象太粗糙所造成的。从处理方法看,似应首先选取恰当的运动学,如我们本文中提出的总能量守恒运动学修正,然后再看还有哪些奇异效应是必须由其它的物理机制来解决的。

下面,我们给出对脉冲近似进行总能量守恒运动学修正所得到的结果:

(1) 可解释轻子核子深部非弹散射中 Bjorken 标度不变性的破坏,并对两个唯象上较好的早熟标度变量: Bloom-Cilman 变量^[9]和 Weizmann 变量^[10],提供了物理证明。另我们还指出, Bjorken 标度不变性破坏现象不能看成就是 QCD 的实验证据。至少,我们要修改 QCD 理论中的参数。详细讨论参见文献[8]。

出此
奇异
EMC

基本方
子核的深

$v \rightarrow \infty,$
 $= \frac{Q^2}{2Mv}$

$z(Q^2, v)$

对 QCD

结构函数

定性符

发射的平

现人们

核内核子

的粗糙

与有出现

图象的

的奇异

深部非

干涉加

(2) 可解释 EMC 效应: 我们发现, 轻子原子核深部非弹散射具有 Q^2 相关性和 e 相关性. 其中, Q^2 为轻子四动量转移平方, e 为轻子入射能量. 由此, 我们可描述 SLAC 数据的细节, 解释 EMC 数据与 SLAC 数据在 x 较小处的差别为什么那么大, 对中微子数据的异常行为给出理解. 我们还可给出 Shadowing 效应, 有很多预言. 详细讨论参见文献[7].

参 考 文 献

- [1] R. M. Barnett, *Phys. Rev. Lett.*, **48**(1982), 1657; *Phys. Rev.*, **D27**(1983), 98; R. M. Barnett, D. Schlatter and L. Trentadue, *Phys. Rev. Lett.*, **46**(1981), 1659.
- [2] EMC, J. J. Aubert et al., *Phys. Lett.*, **B123**(1983), 275; A. Bodek et al., *Phys. Rev. Lett.*, **50**(1983), 1431; **51**(1983), 534; R. G. Arnold et al., *Phys. Rev. Lett.*, **52**(1984), 727; BCDMS, G. Bari et al., *Phys. Lett.*, **B163**(1985), 282.
- [3] A. Bodek and J. L. Ritchie, *Phys. Rev.*, **D23**(1981), 1070; **24**(1981), 1400.
- [4] 例如, R. L. Jaffe, *Phys. Rev. Lett.*, **50**(1983), 228; 也可参见评述文章, 例如, A. Krzywicki, *Nucl. Phys.*, **A446**(1985), 135c.
- [5] 例如, C. A. G. Canal et al., *Phys. Rev. Lett.*, **53**(1984), 1430; M. Staszal et al., *Phys. Rev.*, **D29**(1984), 2638; S. V. Akulinichev et al., *Phys. Rev. Lett.*, **55**(1985), 2239; P. R. Bickerstaff and G. A. Miller, *Phys. Lett.*, **B168**(1986), 409.
- [6] A. M. Cooper et al., *Phys. Lett.*, **B141**(1984), 133; M. A. Parker et al., *Nucl. Phys.*, **B232**(1984), 1; H. Abramowicz et al., *Z. Phys.*, **C25**(1984), 29; J. Hanlon et al., *Phys. Rev.*, **D32**(1985), 2441.
- [7] Bo-qiang Ma and Ji Sun, *Phys. Lett.*, **B**(待发表).
- [8] Bo-qiang Ma, *Phys. Lett.*, **B176**(1986), 179.
- [9] E. D. Bloom and F. J. Gilman, *Phys. Rev. Lett.*, **25**(1970), 1140; *Phys. Rev.*, **D4**(1971), 2901.
- [10] V. Rittenberg and H. R. Rubinstein, *Phys. Lett.*, **B35**(1971), 50; F. W. Brasse et al., *Nucl. Phys.*, **B39**(1972), 421.

RESEARCHES ON THE KINEMATICS MODIFICATION
OF THE IMPULSE APPROXIMATION

MA BO-QIANG SUN JI

(Peking University)

ABSTRACT

The influence arising from overall energy conservation kinematics modification on the impulse approximation is discussed. It is found that this kinematics modification plays an important role in both deep inelastic lepton nucleon scattering and deep inelastic lepton nucleus scattering. This can give explanations of the Bjorken scaling violation and the EMC effect.