

# 理论物理所专题讲座 (Colloquium) 简讯

· 董 述 ·

今年 4 月 17 日下午, 北师大教授、中科院学部委员黄祖洽先生应邀来我所作了题为《关于 Navier-Stokes 方程的讨论》的专题报告。

Navier-Stokes (N-S) 方程是流体力学中主要的基本方程。流体力学方程是宏观层次的经验性描述。流体状态由流速分布  $u$  和有关的热力学量  $P$  (压强),  $\rho$  (密度) 来描述。根据三大守恒律可得出其相应的物态方程:

(1) 质量守恒  $\Rightarrow$  连续性方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) \text{ 或 } \frac{d\rho}{dt} = -\rho \nabla \cdot u,$$

(2) 动量守恒  $\Rightarrow$  运动方程:

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} = -\frac{\partial \pi_{ik}}{\partial x_k} + \rho f_i$$

式中  $\pi_{ik}$  = 动量流密度张量 =  $\rho u_i u_k + P \delta_{ik} - \sigma'_{ik}$ ,  
 $\sigma'_{ik}$  = 粘性张力张量 =  $\eta \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ik} \nabla \cdot u \right) + \zeta \delta_{ik} \nabla \cdot u$ ,  $\eta, \zeta$  (均  $> 0$ ) 为 1st, 2nd 粘性系数,  $f$  为外力。

(3) 能量守恒  $\Rightarrow$  能量方程:

$$\frac{\partial (\rho e)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho e u - K \nabla T) = \sigma : \nabla u,$$

若流体为均质且不可压缩, 则  $\rho = \text{const}$ ,  $\eta = \text{const}$ ,  $\nabla \cdot u = 0$ . 运动方程约化为 N-S 方程:

$$\rho \frac{du}{dt} = -\nabla P + \eta \nabla^2 u + \rho f,$$

其解具有以下性质: (1) 解的存在性, 唯一性及规则性: 对于初值问题, 若初始和边界数据足够光滑, 则在某一时间范围内存在唯一的光滑解, 此解可延伸到以后的时间, 成为规则性可能较差的解。(2) 解的稳定性, 湍流。(3) N-S 方程的精确解: N-S 方程无通解, 只有少量精确解, 分三类: a. 平行流, b. Beltrami 流及其推广, c. 自型解。(4) 数量级估计: Reynold 数  $Re \ll 1$  时, 非线性项可略去, 从而求得 Stokes 流的近似解。  $Re \gg 1$  时, 粘性项可忽略, 这时粘性效应仅局限在边界层内, 而在边界层外可用 Euler 方程。(5) 近似解法和数值解法: 利用奇异微扰, 有限差分, 有限元, 激波等方法可得到 N-S 方程的近似解或数值解。

N-S 方程还可从 Boltzmann 方程 (BE) 得出。略去外力场, BE 为:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + v \cdot \nabla n = \iint d\omega d\omega' u \sigma [n(v') n(\omega') - n(v) n(\omega)],$$

1) 将  $n$  对  $v$  展开来近似求解  $v$  小时的 BE, 可给出 Euler 方程及其修正, 但得不出 N-S 方程。 2) 将  $n$  及  $\frac{\partial n}{\partial t}$  均对  $v$  展开, 其一阶近似给出 N-S 方程, 二阶及三阶近似分别给出 Burnett 及超 Burnett 方程。 3) 按奇异微扰理论, 将  $n$ ,  $\partial n / \partial t$  及流体力学变量均对  $v$  展开, 并选择展开中出现的参量以消去久项, 保持各阶方程封闭, 这种展开的各阶方程都是 N-S 方程!

今年 5 月 15 日下午, 清华大学邝宇平教授来理论所作了题为《超高能物理》的报告, 对超高能物理发展的现状、未来的发展前景及可能的理论研究课题作了系统的阐述。

一、标准模型检验的现状

1. 标准模型

$SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)$  标准模型是描写基本粒子相互作用的一个成功的理论, 它是由规范理论结合 Higgs 机制 (基本标量场引入的电弱相互作用的对称性破缺) 而形成的。这个理论共含有包括规范场部分、费米子部分 (三代结构) 和 Higgs 部分在内的 19 个独立的自由参量。这使得人们普遍认为它可能是一个“低能”的有效理论。

2. 实验检验

(1) 到目前为止, 在标准模型中还有  $t$  夸克和 Higgs 未找到, 目前的实验对它们的质量给出的下限是  $m_t > 91 \text{ GeV}$  (CDF) 和  $m_H > 57 \text{ GeV}$  (LEP)。

(2) QCD 的检验, 微扰 QCD 只含有一个参量  $\Delta_{M_s}$  或  $\alpha_s(M_s)$ 。目前由各个实验定出的  $\Delta_{M_s}$  是一致的 ( $\alpha_s(M_s) = 0.21 \pm 0.01$ )。这表明 QCD 是成功的。而非微扰 QCD 的计算, 理论上还很不清楚。

(3) 弱电部分的精确检验。目前这部分的检验已能精确到一圈图的水平, 由此可通过在圈图上和  $m_t$ ,  $m_H$  有关的物理过程或物理量的测量 (比如  $m_t/m_W$ ,  $Z^0 \rightarrow l^+ l^-$  的宽度及前后不对称,  $Z^0 \rightarrow e^+ e^-$  的极化,  $Z^0 \rightarrow b \bar{b}$  前后不对称, 低能中性流和原子宇称不守恒) 来对  $m_t$  和  $m_H$  给出一定的限制。如假定  $m_H$  在 50—1000 GeV 的范围, 由各种过程定出的  $m_t$  的范围基本上是一致的。平均为  $121 \pm 22 \text{ GeV}$ 。

(4) S, T, U 参量 ( $e_1, e_2, e_3$ ) 的系统分析。研究表明: 这些参量和规范粒子的真空极化有关。通过比较实验结果和理论计算值可对  $m_t, m_H$  给出限制。综合分析表明:  $m_H$  低时符合较好,  $m_t$  小于 200 GeV。

以上结果表明  $SU(2) \times U(1)$  规范理论是成功的, 而对称性破缺的机制有待进一步研究。

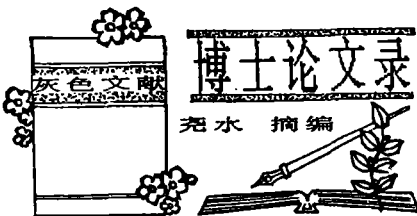
3. Higgs 部分存在的问题。

(续前)

### 5 郭新恒：“非微扰 QCD 中手征对称性自发破缺及强子结构的研究”

导师：黄涛研究员

本文的第一部分回顾了目前关于非微扰 QCD 中手征对称性自发破缺及强子波函数的研究。其中包括 Nambu-Jona-Lasinio 理论, 三种流行的处理手征对称性自发破缺的有效势理论, 还介绍了关于夸克有效质量的计算, 短程力及线性禁闭势分别对手征对称性自发破缺的影响等方面的研究现状。本文还简单介绍了 QCD 求和规则及背景场方法处理非微扰效应的基本思想及其它们通过真空凝聚定强子波函数的方法, 介绍了检验强子波函数的一些物理过程以及目前存在的一些关于强子波函数的唯象模型。本文的第二部分是作者的研究成果。在关于手征对称性自发破缺的研究中, 作者提出了一种用关于夸克凝聚的自洽方程确定重整化群不变的夸克凝聚数值的方法, 计算了发生动力学自发破缺强耦合常数的阈值。在单圈、双圈近似下分别计算了夸克凝聚的数值, 得到了合理的结果。同时给出了一种发生动力学自发破缺的图象。作者还给出了存在与胶子凝聚有关的非微扰核时的 Schwinger-Dyson 方程的形式, 并用这一方程计算了夸克凝聚及发生动力学自发破缺的耦合常数的阈值, 得到了与用自洽方程讨论时相符的结果, 还讨论了非微扰核对手征对称性自发破缺的影响。另外, 作者还利用 SD 方程与 Slavn-



ov-Taylor 等式讨论了中程力可能对动力学自发破缺产生的效应。在 Brodsky-Huang-Lepage 提出的介子波函数基础上, 我们给出了赝标介子和矢量介子波函数的一般形式, 并讨论了它们的性质, 还把这种波函数应用到重味介子 D、B 的半轻子及非轻子衰变过程中, 修正了目前国际上流行的 Bauer-Stech-Wirbel (BSW) 的波函数模型, 给出了与实验自洽的理论结果并预言了尚未存在实验过程的分支比, 还给出了 K-M 矩阵 V 的上限, 这一上限比 BSW 模型的值要小。另外, 作者还将强子有结构的观点用于 W, Z 粒子, 讨论了复合模型对 Z 粒子强子衰变宽度的影响。这种影响使 Z 的强子衰变宽度比标准模型的预言值要小。这种差别可望在 LEP 上高精度的 Z 粒子性质测量中得到验证。

### 6 裴国玺：“BEPc 正电子源优化”

导师：谢家麟研究员

正电子产额, 定义为  $I_{e^+}/I_{e^-}$  或  $I_{e^+}/I_{e^-}$ ,  $E_L(\text{GeV})$ , 是正电子源的一个重要物理量, 它的高低直接关系到正电子加速器的优劣。正电子源的优化就是使给定的条件下, 系统及其参数选择最佳, 正电子产额最高。自从 1958 年 Stanford 建成世界上第一台正电子加速器后, 由于正电子束的多种用途, 世界各大实验室都先后建造了自己的正电子加速器。由于系统及其参数的不同, 他们都有一套自己的优化方案。本文就是为 BEPC 正电子源选择一套优化方案, 直接为工程

Higgs 部分所含的参量最多。到目前还没有任何的直接检验。从理论上, Higgs 部分有所谓平庸性问题。为避免平庸性, 可假定 Higgs 部分为低能有效理论。由此得出  $m_H$  的上限为  $1\text{TeV}$  左右。此外基本标量场还有存在 fine tune 的问题。

探清电弱对称自发破缺机制是当前人们最关注的问题, 也是下世纪初实验粒子物理的主要问题, 很可能与新物理有关。

#### 二、超高能 PP 对撞物理。

本世纪末将建成的 PP 对撞机如 SSC 具有质心能量  $E_{c.m.} = 40\text{TeV}$ 。量度  $L = 10^{33}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  和 LHC  $E_{c.m.} = 16\text{TeV}$ ,  $L = 10^{34}\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  对研究电弱破缺机制和发现可能有的新物理提供了实验基础。

#### 1. Higgs 粒子的寻找。

寻找 Higgs 粒子是人们极感兴趣的问题。当  $m_H < m_{Z_0}$  时, Higgs 粒子可在 LEP II 被发现, 而当  $1\text{TeV} > m_H > 2M_2$  时, 可通过反应道  $PP \rightarrow H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-l^+l^-$  而发现。而当  $130\text{GeV} < m_H < 2M_2$  时也可通过  $PP \rightarrow H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+l^-l^+l^-$  而观测到。而对  $M_2 <$

$M_H < 130\text{GeV}$  发现 Higgs 最困难, 因 QCD 背景大, 这个范围的 Higgs 可望通过  $H \rightarrow \tau\tau$  道, 由 Higgs 和规范粒子或  $\tau$  夸克的联合产生而探测到。

#### 2. $V_L - V_L$ 散射。

如 Higgs 粒子自相互作用强, 通过  $V_L - V_L$  散射可研究 Goldstone 粒子相互作用机制也可看到  $H^0, \rho^\pm$  (technicolor) 及  $I = 2$  的 resonance。

#### 3. 反常 W-W- $\tau$ , W-W-2 顶角的检验。

目前这部分还未得直接检验, 在 SSC 上实验可鉴别到  $\Delta\lambda \sim 0.1$ 。

#### 4. 新 Z' 玻色子的寻找。

在 LHC 和 SSC 上可望对  $m_{Z'}$  在  $3 \sim 6\text{TeV}$  范围内的 Z' 粒子进行探测。

#### 5. SUSY 的检验。

在 LHC 上如  $\int Ldt = 10^{35}\text{cm}^{-2}$  可找到质量小于  $1.5\text{TeV}$  左右的超对称伙伴。

此外 Top 物理、新重夸克、B 物理、中微子物理、复合模型 1PP 弹性散射总截面的测量和其它新物理都将是 SSC 和 LHC 上很重要的研究课题。