

DOI 10.3969/j.issn.1003-0972.2011.01.011

各种可能的 Pauli 不相容原理的破缺和相应的统一 (II)

——与非线性理论、反常现象、自旋和碰撞的关系

张一方*

(云南大学 物理系, 云南 昆明 650091)

摘要: 目前某些的实验和理论暗示 Pauli 不相容原理 (PEP) 在 高能等时破缺, 这联系于非线性理论. 某些反常现象及自旋、极化、碰撞等也可能与 PEP 破缺有关. 此外, 展望了 PEP 破缺的各种可能性.

关键词: PEP 的破缺; 非线性理论; 反常; 高能; 自旋; 极化; 碰撞

中图分类号: O571 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0972(2011)01-0043-06

Various Possible Violations of Pauli Exclusion Principle and Corresponding Unifications (II)

——Their Relations with Nonlinear Theory, Abnormal Phenomena, Spin and Collisions

ZHANG Yifang*

(Department of Physics, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract At present some experiments and theories implied the violation of the Pauli Exclusion Principle (PEP) at high energy, etc. This is related with the nonlinear theory. Some abnormal phenomena, spin, polarization and collisions are probably related with the violation of PEP. Moreover, various possibilities of violation of PEP are also prospected.

Key words violation of PEP; nonlinear theory; anomaly; high energy; spin; polarization; collision

0 引言

已知的实验和理论已经暗示 Pauli 不相容原理 (PEP) 在 高能等时破缺^[1,9]. 文献 [10] 具体讨论了量子场论中的鬼场和任意子、分数统计等已经和 PEP 的可能破缺和量子统计性的统一密切相关. 在此我们进一步结合非线性理论、各种反常现象及自旋、极化、碰撞等讨论和展望 PEP 破缺的各种可能性.

1 非线性理论

PEP 成立必须是无相互作用, 非线性理论必然联系于相互作用, 所以对此 PEP 应该有所修正和发展^[5]. 而且这还可以结合熵减条件^[11]. 理想气体对应 Maxwell-Boltzmann (MB) 分布、Fermi-Dirac (FD) 和 Bose-Einstein (BE) 分布及 PEP, 这是熵增;

非理想气体对应 Van der Waals 方程, Gamma 分布及 PEP 破缺. 当存在某些转化、相变时, 则联系于熵减.

在非线性 σ 模型中,

$$J(\text{总角动量}) = M(\text{轨道角动量}) +$$

$$\frac{\theta}{2\pi} Q^2 (\text{对应分数自旋}), \quad (1)$$

其中 θ 是任意系数. 这可以是费米子, 又可以是玻色子, 还可以是更一般的具有任意自旋的粒子.

$\frac{\theta}{2\pi} Q^2$ 是这些粒子自旋的统一表述. θ 可变时, 它们可以互相转换.

Koures 讨论了一个 $2+1$ 维超对称非线性 σ 模型中自发宇称破缺^[12]. 如此, PEP 破缺对应非线性 σ 模型, 导致宇称破缺, 两种破缺相关. 进一步

收稿日期: 2010-03-17; 修订日期: 2010-07-26*. 通讯联系人, E-mail: yifangd@sina.com

基金项目: 国家自然科学基金项目 (10664006)

作者简介: 张一方 (1947-), 男, 云南昆明人, 教授, 主要从事理论物理研究.

可能还与 CP 等破缺相关. 而 PEP 已经联系于 PCT 守恒.

一般说, σ 模型可以既是非线性的, 也是超对称的. 纯数学的非线性 σ 模型导致分数自旋, 奇异统计导致 Gamma 等统一的统计^[4, 4]. 而 3+1 维与 2+1 维非线性 σ 模型不同. 并且应该讨论 2+ ϵ +1 维非线性 σ 模型.

目前各种与 PEP 破缺相关的非线性理论有笔者提出的量子理论的叠加原理应该发展为非线性叠加原理, 并得到一整套非线性量子理论^[4, 5]、非线性 σ 模型、Weinberg 非线性量子力学 (NLQM)^[13]、及由非 Abel 场得到的量子色动力学 (QCD)、对应鬼场^[10]、反常量纲等. 目前的很多理论禁戒费米子和玻色子互相转化、跃迁, 笔者认为二者并不一定转化, 而是趋于统一^[1, 4]. 这应该联系于分数统计, 统计性和方程统一. 非线性场可以是非局域场. 非线性 (包括对易式、方程) 可以联系于笔者讨论过非线性理论和动力学模型^[4].

NLQM 与波粒二象性及并协性破缺^[4], 热力学第二定律的违背相关^[11]. 可能高能时导致波动性不成立, 二者互相对应. 这可以和笔者提出的一种非线性量子理论^[4, 9] 结合, 特别高能时可以如此. 非线性理论又联系于 PEP 及 CP 破缺^[5].

NLQM 方程假设^[13]

$$i\hbar \frac{d\phi_k}{dt} = \frac{\partial h(\phi_k, \phi_k^*)}{\partial \phi_k^*} = H \phi_k, \quad (2)$$

对应于笔者的非线性量子力学方程^[4]

$$i\hbar \frac{\partial \phi}{\partial t} = E \phi - \hbar \Gamma \phi, \quad (3)$$

或

$$\frac{dL(\sim \phi_k)}{dt} = \frac{1}{i\hbar F_0} (iH - HL) + Q \sim \frac{1}{i\hbar} \frac{\partial h(\phi_k, \phi_k^*)}{\partial \phi_k^*}. \quad (4)$$

非线性理论中可以调节参数, 与笔者理论中的 F , Γ 及 Ignatiev-Kuzm in-G reenberg-M ohapatra (KGM) 理论^[14-16] 中 PEP 小破缺参数 β^2 相关. 而且可以用后牛顿方法, 线性近似展开比较二者, 则

$$iH \phi - H t \phi = t \frac{\partial h}{\partial \phi^*} - \frac{\partial h}{\partial \phi^*} \frac{1}{\phi} t \phi \quad (5)$$

简化令

$$h = \phi^* H \phi + \frac{1}{n} (\phi^*)^2 G \phi^2 + \dots, \quad (6)$$

所以

$$\frac{\partial h}{\partial \phi^*} = H \phi + \frac{2}{n} \phi^* G \phi^2 + \dots, \quad (7)$$

如果 H 是能量算符, 则

$$H = H + \frac{2}{n} \phi^* G \phi + \dots, \quad (8)$$

如果 H 是能量算符, 则

$$H = i\hbar \frac{d}{dt} - \frac{2}{n} \phi^* G \phi + \dots, \quad (9)$$

对此则相应于 $\frac{2}{n} \phi^* G \phi = \hbar \Gamma$. 对费米子有

$$H + H t = i\hbar + (t \cdot \frac{2}{n} \phi^* G \phi + \frac{2}{n} \phi^* G \phi \cdot t) + \dots, \quad (10)$$

它可以类比于笔者的反对易关系. 更一般应对 NLQM 理论作出对易、反对易关系, 然后再比较讨论. 在笔者提出的非线性理论中一般的反对易关系是^[4, 5]

$$x_\mu p_\nu + p_\nu x_\mu = i\hbar F \delta_{\nu\mu} - i\hbar (x_\mu F \frac{\partial}{\partial x_\nu} + F \frac{\partial}{\partial x_\nu} x_\mu) + \hbar (x_\mu \Gamma_\nu + \Gamma_\nu x_\mu). \quad (11)$$

如果相应的湮灭和产生算符的定义不变^[17], 则

$$\{ a_{\alpha'}, a_{\alpha'}^+ \} = F + A. \quad (12)$$

粒子数算符 $N_{\alpha'} = a_{\alpha'}^+ a_{\alpha'}$, 所以

$$N_{\alpha'}^2 = a_{\alpha'}^+ a_{\alpha'} a_{\alpha'}^+ a_{\alpha'} = a_{\alpha'}^+ (F + A - a_{\alpha'}^+ a_{\alpha'}) = a_{\alpha'}^+ a_{\alpha'} (F + A) = N_{\alpha'} (F + A), \quad (13)$$

可得 $N_{\alpha'} = 0$ 和 $F + A$. 当 $F = 1, A = 0$ (或 $A \ll 0$) 时, 本征值是 0 和 1 对低能态等是如此, Dirac 的空穴理论仍然成立. 这就是 PEP. 如果上述条件不成立, 则 PEP 不一定成立. 于是由非线性理论可以得到笔者和 KGM 等提出的 PEP 可能破缺的结论^[1-10, 14-16], 并且成立的条件是相同的.

KGM 理论^[14-16] 导出三线关系:

$$a^2 a^+ + \beta^2 a^+ a^2 = \beta^2 a, \quad (14)$$

这与笔者的理论公式 (12) 结合可以导致纯唯象的 PEP 小破缺理论及相应的三线关系:

$$a^2 a^+ + \beta^2 a^+ a^2 = a^2 a^+ + \beta^2 (F + A) a - \beta^2 a a^+ a = a (a a^+ - \beta^2 a^+ a) + \beta^2 (F + A) a \quad (15)$$

如果 $a^+ a$ 与 $\beta^2 a^+ a$ 对易, 则

$$a^2 a^+ + \beta^2 a^+ a^2 = \beta^2 (F + A) a \quad (16)$$

进一步, 应该从各种非线性理论, 如 de Broglie 的非线性波动力学^[18]、Heisenberg 的非线性统一场

理论^[19]、Higgs场、Burt非线性理论^[20]、动力学模型^[4]等讨论统计性统一和 PEP的可能破缺。

笔者的非线性量子理论^[4]、Weinberg 的 NLQM^[13]等经过理论的泛化推广为一般的非线性泛量子理论。对 IKGM 的 β^2 , 笔者的统计性统一的 $n^{[1,4]}$ 等, 先用后经典法(参数为 n), 次用 Pauli法(参数为 $n = \pm 1 + \varepsilon$)。特别对费米子的所有领域都如此推广, $1 \rightarrow 1 + \varepsilon$ 。可以在玻色子、费米子间中插 n , 以后对二者 n 化为 $-1 + \varepsilon'$, $1 + \varepsilon$ 对易关系中插则

$$ab \pm ba = 0 \rightarrow ab + nba = ab + ba + \varepsilon ba = 0 \quad (17)$$

以后发展到三线性等。这可以先由笔者的非线性理论开始推广, 然后推广到对易关系和各种不同表示。更一般地, 由非线性理论可以把 σ 模型、混沌、超对称理论等联系起来^[5]。

Lokar-Volterra方程可以描述两体 ($v_e - v_u, K_L^0 - K_S^0$ 等) 振荡。Yang-Bacst(YB)方程可用于三体 ($v_e - v_u - V_\tau$) 振荡。YB方程或其推广还可能联系于 KGM 的三线性 PEP破缺。如果这样, 则可由一维多体导致 PEP破缺。而多体相互作用又可以导致热力学第二定律不成立^[11]。这又联系于 YB方程。其基础也是统计力学, 或多体及 YB方程有相互作用时。此时 YB方程最简单的推广是 $ABA = BAB +$ 相互作用项,

$$A(u)B(u+v)A(v)B^{-1}(u) = B(v)A(u+v) \quad (18)$$

其实对非线性理论, 在量子混沌中已经有若干结论和量子概念是不一致的。例如, 混沌运动的周期轨道描述, 在光纤中用方式和传播常数的语言代替量子术语等。对量子混沌 PEP是否成立应该是一个值得关注的问题。而讨论最多的量子混沌之一是在高量子数 n 态的原子中, 这正是笔者专门讨论过的最可能检验 PEP破缺的情况之一^[2,4]。在原子轨道中 PEP 决定只能存在自旋相反的两个电子, 也与电子是概率密度云不一致。二者结合则是, 只有这样的两个电子概率大, 推广就是 PEP 的概率大。

2 自旋、极化与碰撞

QCD认为, 高能时质子等自旋效应应该相当于零。这样费米子和玻色子统一^[1]。并且这似乎已经被费米实验室和 CERN 的实验证实, 其质子能量约为 200~400 GeV。它与笔者预言的统计性统一和 PEP破坏的基础是自旋效应可以忽略, 并提出

的阈值是相同的^[1-2,4]。而 QCD是强相互作用, 主要适用于高能。此时自旋为 0 即统计性统一。所以起码 QCD适用时的强相互作用, PEP可能不成立。QCD基于色, 其推论是统计性统一。如此又有可能不需要色, 从而否定了 QCD存在的前提。这类似夸克与靴带的关系。因此, 色和 QCD应该发展。

PEP破缺联系于统一的统计性^[1]和粒子的自旋。自旋有理论上的分数、无理数自旋和实验中的自旋。粒子(如质子 p)自旋低能时由价夸克决定, 较高能时大部分由胶子决定^[21], 其随能量改变。这是不利于夸克模型的。更高能时可能与介子相似为 0(如 QCD), 或为分数自旋, 趋于统一。

高能时方程统一^[4], 自旋可以是: 1. 略去自旋项; 2. 略去质量项, 自旋可以是中微子的 1/2 和光子等的 0; 3. 自旋可以为任意值; 4. 超对称时自旋对称出现。这与高能自旋可以略去具有相应关系。粒子自旋、质量等可以略去时, 统计性就统一^[1]。

(1+1)维费米子与玻色子有联系, 此时实际上无自旋。Coleman证明 1+1 维的 Sin-Gordon方程在一定条件下与有质量 Thirring(MT)方程(对应 Dirac方程)等价^[22]。其孤子恒等于 Thirring模型的基本费米子。低维时二者相关, 高维时也应该相联, 如弦(D=26维)。相互作用时, 特别是相互作用强及多体问题时, 自旋也许可以为任意值。这对应任意子、PEP破缺。可能对应很多与自旋有关的集团效应。

不同自旋的粒子有不同相互作用, 即粒子的散射截面及衰变的角分布与粒子自旋有关。如此实验中要用极化的粒子束。高能时它们常常趋于相同。

PEP破缺最根本的基础是实验事实。目前实验和理论估计 $\beta^2 \leq 10^{-30} \sim 10^{-6}$ 。高能时质子自旋为 0 则统计性统一; 不为 0 则必须发展 QCD。这联系于碰撞。一般碰撞在能量达到一定范围时都趋于常数, 有标度不变性, 因此有不不变的分维。在非线性的理论中孤子碰撞而形状不变说明它们彼此相容。这可以联系于 PEP破缺, 对应非线性理论^[5]。1992年和 1993年在 Stanford线性加速器中心(SLAC)专门召开了“高能电产生和自旋物理”和“高能过程中的自旋结构”会议。Prescott专门讨论了在实验和理论中具有不断增长的重要作用的自旋物理。

在 Krish 等的极化 pp 散射实验中, 在 4~13 GeV 能量区间, 从 4~8 GeV 随入射质子能量增加, 截面急剧直线下降; 自旋方向平行和反平行者相

同. 在 8 GeV 以上, 下降速度减慢. 并且两个质子自旋平行时截面较大, 13 GeV 处平行 / 反平行比为 4 而据 QCD 计算比应为 2. 这是 90° 散射角. 可以假设质子组分不完全是夸克, 或 pp 碰撞时三个夸克间发生联系, 而不是渐近自由. 总之, 高能 (≥ 8 GeV) 时不是已知的夸克了. 18.5 及 22 GeV 极化质子束实验表明, 无论在一定的散射角, 或一定的入射质子束能量, 自旋平行 / 反平行截面比都是上下振荡的. N. Tyurin 理论曾预言过这种结果. 实验还表明截面比虽然随能量变化, 但对一定的入射质子能量, 最大值总在 90°. 对此 H. Lipkin 模型预言过. 1983 年他们在非极化质子束对极化靶弹性散射中散射角较小时向左和向右散射的质子数相等 (符合 QCD), 但 28 GeV 的大角散射中向左比向右散射的质子数多出三分之二, 不符合 QCD. 这表明高能时理论有所不同.

已知碰撞截面, 特别对量子电动力学 (QED) 在极高能时都有趋于统一的形式, 对应于统一的统计性. 对 QCD 及各种相互作用的碰撞在极高能时也应该有统一的形式, 对应于统一的统计性, 大统一理论等, 并且各种相互作用的碰撞应该统一, 特别在统一标度时. 短距离量子场就是极高能量子场. 极高能时出现: 1. 简并, 统一; 2. 具有统计性及随机涨落; 3. 可能是混沌. 短距离时也应该如此.

实验方面, 高能时各种碰撞, 不管相互作用如何, 都趋于常数和上升. 高能时质量项可以略去, 方程统一为

$$\gamma_{\mu}(\beta_{\mu}) \hat{a}_{\mu} \phi = J. \quad (19)$$

用孤子方法, 方程 (19) 进一步简化为 $\phi' = J$. 其中最简单的两种情况是: 1. $J = 0$ (无相互作用, 渐近自由) 时, $\phi = C$, 截面 $\sigma = C_0$ 趋于常数; 2. 极高能时相互作用统一, 相互作用常数趋于相同, $J = C$, 则 $\phi = CE$, 截面 $\sigma = C_0 E^2$ 随能量上升.

3 PEP 可能破缺的某些情况

已知三维空间降低为二维就可以导致任意子. 三维空间升高为四、五维时, 也应该出现新的特性. PEP 可能也会破坏. 相应任意子可以发展到高维. 由任意子联系的超导、量子 Hall 效应等可能已经暗示 PEP 破缺, 即超导中有 $s = 1$ 的电子对, 高温超导时甚至可能有多个电子等相容. 可能维数 $D = 4$ PEP 成立; D 偏离 4 PEP 不成立.

PEP 破缺可能和各种反常理论, 反常现象及相应的实验有关, 因为 PEP 破缺就是一种反常. 通常

的反常是重整化的产物, 渐近行为联系于反常量纲. 由非线性 σ 模型可以计算 Adler-Bell-Jackiw 反常^[23]. 已知 $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 联系于反常和色^[23], 而色可以用亚夸克解释^[2], 所以这种反常可能与 PEP 破缺有关, 并联系于亚夸克. 高能 $\sqrt{s} \sim 300$ GeV 时么正性将被破坏^[23], 也可能与 PEP 破缺相关. 这样重整化、分数维、反常维数和亚夸克结构等就彼此联系起来. 在 σ 模型中紫外发散的的反常使经典守恒定律不成立^[23]. 而紫外相应于高能, 结合笔者的理论, 紫外反常就可以联系于 PEP 不成立. 非线性 σ 模型具有一些与强相互作用论共同的特性, 它在四维时空中不可重整化, 可能 PEP 不成立等也不可重整化. 这也许类似非线性 σ 模型联系于经典 Heisenberg 模型. 非线性量子理论对应非线性 σ 模型, 都破缺 PEP.

Weinberg 在其名著《量子场论》第二卷 22 章^[24]专门讨论了各种反常 (Anomalies), 包括 π^0 衰变, Abel 反常及其直接计算, 反常的自由规范理论, 无质量束缚态, Goldstone 玻色子等. 特别是反常对易子联系于: 1. 夸克-胶子等离子相. 其要产生必须使非常重的原子核在大大超过 2 GeV 的能量下对撞, 这是超相对论的. 1978 年 Chapiro, Nauenberg 和 Greiner, Stocker 预言“生成夸克物质所需的极高密度和温度可以从能量达到大约每个核子 10 GeV 重离子碰撞中获得, 不过它们只能维持一段极其短暂的时间.” Quercigh, Stock 等实验发现碰撞时 K 介子、反超子数量大增. 这也是 Matsui, Satz 预言等离子 (相) 体出现的标志. 1988 年在 CERN 中探测到 $\mu^- \bar{\nu}$ 对生成中的急剧下降现象. 在夸克等离子体的高能重子碰撞中: a. $E_T > 50$ GeV 的比值峰值与连续本底 ($q \bar{q} \rightarrow \gamma \mu^+ \mu^-$) 的比 N_4/N_c 比 $E_T < 28$ GeV 低 40%. 本底增大或峰变低. $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 形成峰, 高 E_T 相应于中心碰撞. b. J/ψ 产额的压低随横动量的增大而明显减弱. c. K^+/π^+ 比值在高能重离子中心碰撞中比 p-p 碰撞时大得多. 2. 奇异核. 具有不寻常的中子数与质子数之比的核素具有很多奇异性. 它们都不稳定, 可能有 $E > 30$ MeV 的 Gamma 辐射的反常核. 1991 年发现双中子, 其中有 $s = 0$ 与 $s = 1$ (反常态) 的比. 在自由超光速粒子弦 (tachyon-free string) 理论中玻色子和费米子态密度之比必须随相互作用能量趋于一, 此时介子和重子态的密度近似等于 $1.7 \text{ GeV}/c^3$ ^[25]. 这可能是奇特的, 其至少由两个夸克和两个反夸克组

成, 而且区分 $(q\bar{q})(q\bar{q})$ 及 $(qq)(\bar{q}\bar{q})$. 3 exotic 粒子, Higgs 粒子等可能联系于反常鬼粒子. 应该研究各种 exotic 粒子 (包括双重子)、反常现象的自旋、对称性.

超导似乎说明极低温时 PEP 不成立, 此时电子组成 Cooper 对, 相应于非线性 σ 模型. 这样可能极高、极低温时 PEP 都不成立. 极高能时费米子也是组成对. 起码可以借用超导的相应理论. PEP 破坏的一种最基本的已知方法是费米子组成束缚对 (如 Cooper 对), 然后凝聚. 一般低温量子效应明显, 如热容量、超导、超流、BE 凝聚等.

费米子起码有两种态: 低能时不相容的斥力态; 高能时相容的凝聚态, 即能量增大时克服了不相容的斥力. 定量的临界点可能是 $2\sim 300$ GeV, 或者是不确定的. 这也是高能时破坏了某方面的对称性, 而转化为新的对称性: 费米子玻色子的统一等.

4 展望和讨论

笔者相信 PEP 在一定条件下会被破坏. 除了已论述过的某些检验外, 结合上述讨论还可以预言: 因为 2 维电子气和 2 维同位旋铁磁体对应于 $2+1$ 维非线性 σ 模型, 所以 2 维电子气和 2 维同位旋铁磁体等一切符合非线性 σ 模型的系统, 按照数学结论都应该存在分数自旋, 服从奇异统计, 从而破坏 PEP.

在标准模型中, 味产生弱相互作用, 是 $SU(2)$ 规范场. 色产生强相互作用, 是 $SU(3)$ 规范场. 如果 PEP 破缺时无色, 则强相互作用由胶子产生.

我们可以把国际上几方面的研究, 如 PEP 破缺、奇异统计、分数自旋、任意子、非线性理论、超对称性、混沌等联系起来. 这些可能统一于非线性理论. 对比各种统计配分函数, 有分数、无理数自旋. 进一步, 自旋也许还可以是复数. 分数统计的模型都可能违背 PEP. 分数统计、自旋可能对应于分数维. 反之, 从笔者的非线性理论等应该可以导致分数自旋. 其数学表示是分维矩阵^[26-27]. 由统一的统计和 Gamma 分布可以联系于无穷统计等.

进一步, 根据 PEP 破坏等提出新的实验方案, 特别结合高能^[2,9]. 可能对不同粒子, 不同情况, 高

能统一的阈值也不相同, 即是相对高能, 如高激发原子^[2-3]等. 另外还可以是: 1. 多电子原子. 2. 多核子 (p, n) 的核, 特别是奇异核. 3. 高能等时多个相同的费米子也许可以组成一个粒子集团. 4. 多个相同的夸克可以组成一个粒子, 如 $\Omega^- = sss$, $\Delta^{++} = uuu$, $\Delta^- = ddd$ 无色则三个夸克相同; $p = uud$, $n = udd$, $\Sigma^\pm = uus(dds)$, $\Xi^{0-} = uss(dss)$, 无色则两个夸克相同; 三个不同则有两种粒子: $uds = \Lambda_c^+$, Σ^0 , $udc = \Lambda_c^+$, Σ_c^+ . 各代重子都应该如此. 讨论 PEP 破坏的反常集团与正常态的比. 特别对高能、高激发态, 如 Δ , Ω^- 等都是能量较高, 且可以再激发. 研究这些粒子从不同能态产生时有何差异, 可以预言 $E \sim 1$ TeV 时可能出现新物理. 这又相应于尺度 2×10^{-17} cm.

已知氢原子中的两个电子自旋方向相反. 在外加磁场的作用下迫使电子自旋取向相同, 但理论预测其中一个电子必定会跃迁到较高能级. 量子点 (dot) 可以用 2 特斯拉磁场对此作出检验 (用真实原子必须 400 000 特斯拉磁场), 并且高精度探测量子混沌和量子 Hall 效应. Ashoori 等用单电子电容光谱学, 讨论了磁场中一个量子点的 N 电子基态能, 绘制出磁场决定于从 0 到 50 个电子的单量子点的基态能^[28]. 这导致准二维特性, 对应分数量子 Hall 效应、任意子和 PEP 破缺. 此外, 可以用激光镊子把电子加到 n 极大的原子中, 检验 PEP. 进一步应该检验重味夸克 (m 特大) 与 PEP 是否一致.

除非线性理论外, PEP 的破坏还可以结合其他数学方法, 如超李代数等. 更一般地, 量子力学和量子场论在一定条件下也不成立. 笔者就提出对单个粒子、小时空、短程强弱相互作用、高能, 目前形式的波动性是否仍然成立就没有很好验证^[4].

总之, 从粒子物理标准模型的不超越到 PEP 的可能破缺, 特别是纠缠态和超光速的发现直接导致非定域性及对狭义相对论的否定, 不仅暗示着一种新的第五种相互作用^[29-30], 而且结合暗物质、暗能量的出现^[31], 更可能预示物理学基础的重大改革即将来临.

参考文献:

- [1] Chang Y F. *High energy behaviour of particles and unified statistics* [J]. *Hadronic J* 1984, 7(5): 1118-1133.
- [2] Chang Y F. *Some possible tests of the inapplicability of Pauli's exclusion principle* [J]. *Hadronic J* 1984 7(6): 1469-1473.

- [3] 张一方. 在激光导致的高激发态原子中检验泡利不相容原理的适用性 [J]. 自然杂志, 1988, 11 (8): 635-636
- [4] 张一方. 粒子物理和相对论的新探索 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1989.
- [5] Chang Y F. *The nonlinear quantum theory and possible violation of the Pauli exclusion principle* [C] // Ahn S H. Proc of the 4 th Asia-Pacific Phys Conf V2. World Scientific. 1991. 1483-1486
- [6] Chang Y F. *Various theories relevant to possible violation of the Pauli principle* [C] // Myung H C. Hadronic Mechanics and Nonpotential Interactions Part 2. Nova Science Publishers, Inc. 1992. 169-175
- [7] 张一方. 泡利不相容原理破坏的可能检验 [J]. 自然杂志, 1992, 15 (4): 315-316.
- [8] Chang Y F. *Possible outlet of Pauli principle violation test* [C] // ISATQP-Shanghai 1992. New York: Science Press. 1993. 336-338.
- [9] Chang Y F. *Test of Pauli's exclusion principle in particle physics, astrophysics and other fields* [J]. Hadronic J. 1999, 22 (3): 257-268
- [10] 张一方. 各种可能的 Pauli 不相容原理的破缺和相应的统一 (I) [J]. 信阳师范学院学报: 自然科学版, 2010, 23 (3): 360-365
- [11] Chang Y F. *Decrease of entropy, quantum statistics and possible violation of Pauli Exclusion Principle* [J]. arXiv: 0810.0313. 1-9.
- [12] Koures V G, Mahanthappa K T. *Spontaneous parity violation in a supersymmetric nonlinear model in 2+1 dimensions* [J]. Phys Lett B. 1990, 245 (3/4): 515-518
- [13] Weinberg S. *Precision tests of quantum mechanics* [J]. Phys Rev Lett. 1989, 62 (5): 485-488.
- [14] Greenberg O W, Mohapatra R N. *Local quantum field theory of possible violation of the Pauli principle* [J]. Phys Rev Lett. 1987, 59 (22): 2507-2510
- [15] Gavrín V N, Ignatiev A Y, Kuznín V A. *Search for small violation of the Pauli principle* [J]. Phys Lett B, 1988, 206 (2): 343-345.
- [16] Greenberg O W, Mohapatra R N. *Phenomenology of small violations of Fermi and Bose statistics* [J]. Phys Rev D, 1989, 39 (7): 2032-2038
- [17] Bjorken J D, Drell S D. *Relativistic quantum field* [M]. New York: McGraw-Hill Book Company. 1965
- [18] De Broglie L. *Non-Linear wave mechanics* [M]. Amsterdam: Elsevier Publishing Co. 1960.
- [19] Heisenberg W. *Introduction to the unified field theory of elementary particles* [M]. New York: Interscience Publishers. 1966
- [20] Burt P B. *Quantum mechanics and nonlinear waves* [M]. Amsterdam: Harwood Academic Publishers. 1981.
- [21] Lampe B. *The proton spin at high energies* [J]. Phys Lett B, 1989, 227 (3/4): 469-473.
- [22] Coleman S. *Quantum sine-gordon equation as the massive Dirac mode* [J]. Phys Rev D, 1975, 11 (8): 2088-2097.
- [23] 依捷克森 C, 祖柏尔 J B. 量子场论 (下册) [M]. 杜东生, 译. 北京: 科学出版社, 1986. 141-189, 243-257
- [24] Weinberg S. *The quantum theory of fields (II)* [M]. Cambridge: Cambridge University Press. 1996
- [25] Freund P G O, Rosner J L. *Densities of meson and baryon states* [J]. Phys Rev Lett. 1992, 68 (6): 765-767
- [26] 张一方. 数学、物理中分维的发展和分维时空理论 [J]. 大自然探索, 1991, 10 (2): 49-54.
- [27] Chang Y F. *Fractal relativity, generalized Noether theorem and new research of spacetime* [J]. arXiv: 707.0136. 1-9.
- [28] Ashoori R C, Stormer H L, Weiner J S et al. *N-electron ground state energies of a quantum dot in magnetic field* [J]. Phys Rev Lett. 1993, 71 (4): 613-616.
- [29] Chang Y F. *Perfect structure of the special relativity, new superluminal interaction and neutrino-photon mass* [J]. arXiv: 0708.0435. 1-11
- [30] 张一方. 量子力学和相对论的结合、不相容及发展 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2008, 30 (1): 41-46
- [31] Bovy J, Farrar G R. *Connection between a possible fifth force and the direct detection of dark matter* [J]. Phys Rev Lett. 2009, 102 (10): 101301-101304

责任编辑: 任长江