



基本费米子质量和代问题

米立功 谢泉 张利 吴忠组

Mass distribution and generation of elementary fermions

Mi Li-Gong Xie Quan Zhang Li Wu Zhong-Zu

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 70, 231201 (2021) DOI: 10.7498/aps.70.20210854

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210854>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基本费米子质量和代问题*

米立功[†] 谢泉 张利 吴忠组

(贵州大学大数据与信息工程学院, 物理学院, 贵阳 550025)

(2021 年 5 月 7 日收到; 2021 年 7 月 26 日收到修改稿)

研究了基本费米子的质量分布, 并找到一组描述基本费米子质量在特定分布模式下的经验关系式. 这启发我们对基本费米子质量等级和基本费米子具有三代的根源进行深入的思考, 提出了一种理论模型, 解释了基本费米子为什么具有三代, 并讨论了基本费米子质量等级和自旋的起源.

关键词: 质量等级, 基本费米子, 代, 自旋

PACS: 12.10.Kt, 11.10.-z, 03.65.-w, 12.60.-i

DOI: 10.7498/aps.70.20210854

1 引言

在标准模型框架下, 共有三代基本费米子, 每代基本费米子包含一对夸克和一对轻子. 三代夸克和带电轻子都具有质量. 中微子振荡实验进一步表明至少有两种中微子也具有质量^[1-3]. 基本费米子质量是粒子物理标准模型的基本参数. 其中, 轻子作为物理粒子能够被观测到, 因此轻子质量能够直接测量; 而夸克被禁闭在强子内部, 其质量必须通过它们对强子性质的影响而间接测定. 标准模型并没有预测夸克和轻子的质量大小, 夸克和轻子的质量值只能通过实验测得. 对于夸克, 能够根据需要进行不同的重整化方案对它的质量参数进行定义. 为了比较不同的质量测定结果, 通常采用微扰理论, 将获得的质量值转化为在 $\overline{MS}$ (minimal-subtraction) 方案中, 固定的重整化尺度下的跑动质量^[4]. 本文采用的轻夸克的质量是在 $\overline{MS}$ 方案中, 重整化尺度为 2 GeV 下定义的. c 夸克和 b 夸克的质量是在 $\overline{MS}$ 方案中定义的跑动质量. t 夸克和带电轻子的质量采用直接测量的物理质量. 本文的主要工作是通过考察基本费米子的质量分布规律, 提

出了一组描述基本费米子质量在特定分布模式下的经验关系式, 并提出了一种理论模型解释产生三代基本费米子的原因.

2 基本费米子的质量分布

基于目前对基本费米子质量的测量^[5,6], 在表 1 中, 将三代夸克与轻子依次排成三列四行, 并分别用 l 和 n 表示基本费米子的列数和行数. 表 1 中三代基本费米子中较重的夸克和轻子分别排在 $n = 1$ 行和 $n = 2$ 行, 较轻的三代夸克和轻子分别排在 $n = 3$ 行和 $n = 4$ 行. 经过排列后, 在 $l = 1$ 列, 基本费米子从上到下分别为下夸克、电子、上夸克、电子中微子; 在 $l = 2$ 列, 基本费米子从上到下分别为粲夸克、 μ 子、奇夸克、 μ 子中微子; 在 $l = 3$ 列, 基本费米子从上到下分别为顶夸克、 τ 子、底夸克、 τ 子中微子. 表 1 中括号内为对应的夸克或轻子的质量, 以 MeV 为单位. 该质量采用 Particle Data Group (2020) 的推荐值^[7]. 不难发现, 在表 1 中, 从 $n = 1$ 行到 $n = 3$ 行, 基本费米子的质量从左到右依次增大, 且呈现一种周期性, 这暗示着三代中微子也应该遵循同样的分布规律.

* 国家自然科学基金 (批准号: 11963003)、国家中国 SKA 项目 (批准号: 2020SKA0110300)、贵州省教育厅青年科技人才成长项目 (批准号: 黔教合 KY 字 [2018]433, 119) 和贵州大学引进人才科研基金 (批准号: 贵大人基合字 (2018)60 号) 资助的课题.

[†] 通信作者. E-mail: miligong@foxmail.com

表 1 基本费米子的质量分布
 Table 1. Mass distribution of elementary fermions.

代	$l = 1$	$l = 2$	$l = 3$
$n = 1$	d $[4.64^{+0.48}_{-0.17}]$	c $[1270 \pm 20]$	t $[172760 \pm 300]$
$n = 2$	e $[0.5109989461 \pm 0.0000000031]$	μ $[105.6583745 \pm 0.0000024]$	τ $[1776.82 \pm 0.12]$
$n = 3$	u $[2.16^{+0.49}_{-0.26}]$	s $[93^{+11}_{-5}]$	b $[4180^{+30}_{-20}]$
$n = 4$	ν_e	ν_μ	ν_τ

在表 1 中, 第 l 列和第 n 行的基本费米子的质量记为 m_{ln} , 并令

$$N(n) = m_{3n}/(m_{1n} + m_{2n}), \quad (1)$$

$$L(l) = m_{l1}/(m_{l2} + m_{l3} + m_{l4}), \quad (2)$$

其中, $N(n)$ 表示第 n 组夸克中, 较重的基本费米子的质量与另外两个较轻的基本费米子的总质量的比值; $L(l)$ 表示第 l 代基本费米子中, 较重的基本费米子的质量与另外三个较轻的基本费米子的总质量的比值. 不妨称 $N(n)$ 和 $L(l)$ 为基本费米子质量的量子结构函数. 我们提出: 对于基本费米子, 分别存在一个量子结构函数 $N(n)$ 和 $L(l)$ 将它们的质量联系在一起.

3 基本费米子质量的经验关系

采取如下的分析步骤构造量子结构函数 $N(n)$: 首先, 设想存在一个数值区间 $[k_i, k_j]$, 且该区间内的元素记为 k , 则有 $k_i \leq k \leq k_j$, 其中, k_i 和 k_j 不妨称为区间 $[k_i, k_j]$ 的界; 其次, 假设对于行数 n , 总能够找到对应的 k_i 和 k_j , 使得 $k_i = k_i(n)$, $k_j = k_j(n)$, 其中 $k_i(n)$ 和 $k_j(n)$ 不妨称为 n 的界函数; 第三, 设想存在 k 的一个函数 $F(k)$, 使得当 k 从 k_i 依次取到 k_j 时, 有

$$N(n) = \sum_{k=k_i(n)}^{k_j(n)} F(k), \quad (3)$$

其中, $F(k)$ 不妨称为 $N(n)$ 的结构核. $F(k)$ 应该不是唯一的, 我们找到了 $N(n)$ 的一个好的结构核 $F(k)$, 即

$$F(k) = (1/\alpha - k)^{1/k}, \quad (4)$$

其中, α 为精细结构常数. 从而有

$$N(n) = \sum_{k=k_i(n)}^{k_j(n)} \left(\frac{1}{\alpha} - k \right)^{1/k}. \quad (5)$$

同时, 我们找到了 n 的一组界函数, 即

$$k_i(n) = 2^{n-1}, \quad k_j(n) = n^n + (1-n)^{n-1}. \quad (6)$$

特别地, 当 $n = 1$ 时, $k_j(1) = 1 + 0^0$, 其中, 0^0 没有严格的定义, 在本文中, 我们约定: $0^0 = 0$, 从而有 $k_j(1) = 1$. 设 $N(n)$ 的经验值为 $N_e(n)$, 由 (5) 式和 (6) 式可得到 $N(n)$ 的一个经验表达式:

$$N_e(n) = \sum_{k=2^{n-1}}^{n^n + (1-n)^{n-1}} \left(\frac{1}{\alpha} - k \right)^{1/k}, \quad (7)$$

当 $n = 1, 2, 3$ 时, 由 (7) 式可得

$$N_e(1) = 136.036, \quad N_e(2) = 16.7381, \quad N_e(3) = 42.5273. \quad (8)$$

设 $N(n)$ 的观测值为 $N_o(n)$. 采用 Particle Data Group (2020) 的推荐值, 计算可得

$$N_o(1) = 135.53^{+2.42}_{-2.37}, \quad N_o(2) = 16.7357 \pm 0.0011, \\ N_o(3) = 44^{+3}_{-5}. \quad (9)$$

可见, $n = 1, 2, 3$ 时, $N(n)$ 的经验值 $N_e(n)$ 和观测值 $N_o(n)$ 符合得非常好. 图 1(a) 给出了 $N(n)$ 的经验值和观测值的相关图, 通过 pearson 相关分析, 得到两者的相关系数为 0.9999, 其显著性为 0.00889, 说明两者在大于 99% 的置信度水平上具有极强的正相关.

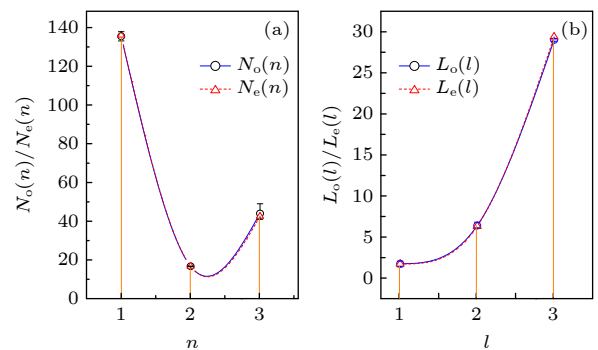


图 1 观测值和经验值的相关性 (a) $N_o(n)$ 与 $N_e(n)$ 的比较; (b) $L_o(l)$ 与 $L_e(l)$ 的比较

Fig. 1. Correlation between theoretical and observed values: (a) the correlation between $N_o(n)$ and $N_e(n)$ for $n = 1, 2, 3$; (b) the correlation between $L_o(l)$ and $L_e(l)$ for $l = 1, 2, 3$.

在表 1 中, 对于第 l 代基本费米子, 设 $L(l)$ 的经验值为 $L_e(l)$, 我们找到了 $L_e(l)$ 的一个好的经验关系式:

$$L_e(l) = 2^{l-1} \sqrt{(l-1)!(2^l+1)l}. \quad (10)$$

当 $l = 1, 2, 3$ 时, 由 (10) 式计算可得

$$L_e(1) = 1.73, L_e(2) = 6.32, L_e(3) = 29.39. \quad (11)$$

设 $L(l)$ 的观测值为 $L_o(l)$. 根据 Particle Data Group (2020) 推荐的夸克和轻子的质量值, 计算可得

$$\begin{aligned} L_o(1) &= 1.75^{+0.39}_{-0.32}, L_o(2) = 6.39^{+0.27}_{-0.43}, \\ L_o(3) &= 29.00^{+0.15}_{-0.20}. \end{aligned} \quad (12)$$

由于中微子的质量非常轻^[8], 在计算过程中已经将其忽略. 可见, $L(l)$ 的经验值 $L_e(l)$ 和观测值 $L_o(l)$ 符合得非常好. 图 1(b) 中绘制了 $L(l)$ 的经验值和观测值的相关图, 通过 pearson 相关分析, 得到两者的相关系数为 0.99999, 其显著性为 0.00278, 说明两者在大于 99% 的置信度水平上具有极强的正相关.

进一步, 利用 3 种带电轻子和顶夸克的质量, 忽略中微子的质量后, 通过 (7) 式和 (10) 式, 可估算得到下夸克、上夸克、粲夸克、奇夸克和底夸克的质量均值分别为 $m_d = 4.28 \text{ MeV}$, $m_u = 1.96 \text{ MeV}$, $m_c = 1266 \text{ MeV}$, $m_s = 94.5 \text{ MeV}$, $m_b = 4101 \text{ MeV}$. 将计算结果与对应的夸克质量的观测值进行比较 (见表 1), 不难发现两者符合得非常好. 进一步, 由 (2) 式和 (10) 式可得

$$m_{l1} = 2 \sqrt{\frac{(2^l+1)l}{2^{l-1}+1}} \xi(l) m_{(l-1)1} \quad (l \neq 1), \quad (13)$$

其中, $\xi(l) = \frac{m_{l2} + m_{l3} + m_{l4}}{m_{(l-1)2} + m_{(l-1)3} + m_{(l-1)4}}$. 同样, 使用 3 种带电轻子和顶夸克的质量, 忽略中微子的质量后, 估算可得 $\xi(3) = 29.37$, $\xi(2) = 81$. 根据 Particle Data Group (2020) 推荐的夸克和轻子的质量值, 估算可得 $\xi(3)$ 和 $\xi(2)$ 的观测值分别为 $29.99^{+0.93}_{-1.67}$ 和 $74.38^{+12.58}_{-13.11}$. 可见, 两者符合得很好.

4 基本费米子代的理论解释和讨论

根据标准模型, 狄拉克场与希格斯场相耦合, 通过自发对称性破缺使费米子从希格斯场的真空期待值获得质量^[9]. 但标准模型没能给出基本费米子的质量大小, 目前, 也很难解释基本费米子的质

量等级和中微子质量的起源问题. 三代基本费米子的质量具有显著的等级, 从电子到顶夸克, 质量跨越了 5 个数量级. 文献 [10] 提出了一种观点, 认为除了顶夸克, 其他质量较轻的基本费米子与希格斯场的作用都是间接的. 考虑到基本费米子的质量正比于它与希格斯场的耦合强度, 与顶夸克相比, 质量较轻的基本费米子与希格斯场的耦合强度可以忽略, 这种观点具有它的合理性. Steven 在文献 [11] 中也表达了同样的想法. 他进一步提出第三代夸克和带电轻子通过与希格斯场耦合获得质量, 然后, 质量再通过某种机制从第三代基本费米子依次传递到第二代和第一代基本费米子.

夸克和轻子都是基本费米子, 具有相同的自旋, 如果它们的质量具有共同的起源, 且这些质量值不是一种巧合, 那么, 理论上能够设想基本费米子质量之间存在一种内在的关联. 本文构建的基本费米子质量之间的经验关系在数学上反映了基本费米子质量的等级差异. 虽然这些经验关系只是唯象的, 但它们能够启发我们进一步思考基本费米子质量等级背后隐藏的某种物理学机理. 基本费米子的质量等级问题与基本费米子为什么只有三代这一问题密切相关. 下面提出一种简化的理论模型对这一问题进行解释.

首先定义一种物理场 U , 它具有如下性质.

1) U 场能够处于一系列量子化的能量态, 且它的能量量子态的数目是有限的. 引入量子数 K 对其所处的能量量子态进行表征. 令 $K = 0, 1, \dots, K_m$, 其中, K_m 为最大的 K 值, 则 U 场的能量量子态的总数目为 $K_m + 1$. 当 $K = 0$ 时, U 场处于基态, 对应着最低的能量量子态. 当 $0 < K \leq K_m$ 时, U 场处于激发态, 对应着较高的能量量子态. U 场的能级记为 ε_K , 则有 $\varepsilon_K > \varepsilon_{K-1}$. U 场的这一特性称为能量等级特性.

2) U 场具有量子化的空间属性, 量子数 K 的每一个取值表征的能量量子态对应着 U 场的一个量子化的空间状态, 称该空间状态为 U 场的量子维度. 可见, U 场的量子维度的总数为 $K_m + 1$, 我们说 U 场是 $K_m + 1$ 维量子空间. 当 U 场在两个能量量子态之间或者在两个量子维度之间跃迁时, U 场将激发出具有质量的一类物质粒子, 不妨称其为代粒子, 且每类代粒子对应一代基本费米子. 称 U 场的这种跃迁为量子维度跃迁. 为了表征代粒子或基本费米子的代, 引入质量量子数 l ($l = 1, 2,$

3, ...). 第 l 代粒子对应着 U 场在两个特定的能量量子态之间的量子维度跃迁. 由于量子数 K 存在一个最大的取值 K_m , 因此, 质量量子数 l 也相应地存在一个最大的取值 l_m , 于是有

$$l_m = \frac{(K_m + 1)!}{2!(K_m - 1)!}. \quad (14)$$

3) 通过对 U 场量子化能够激发出相应的场量子, 记该种场量子为 γ . γ 量子具有波粒二象性, 它的动量 P_K 和波长 Λ_K , 能量 E_K 和周期 T_K 的关系满足德布罗意方程:

$$P_K = \frac{h}{\Lambda_K}, \quad E_K = \frac{h}{T_K}, \quad (15)$$

其中, h 为普朗克常量. 当将 γ 量子视为粒子时, 它具有内禀的空间尺度和时间尺度. γ 量子作为粒子具有的内禀的空间尺度和时间尺度分别称为空间量子尺度和时间量子尺度, 定义为

$$r_K = \frac{\Lambda_K}{2\pi} K, \quad t_K = \frac{T_K}{2\pi} K. \quad (16)$$

当 U 场处于基态时, γ 量子的空间量子尺度和时间量子尺度为零, 此时, U 场具有最小的能量. 由空间量子尺度和时间量子尺度决定的内禀的动量和能量分别称为空间量子动量和空间量子能量. 将 (16) 式代入到 (15) 式, 得到 γ 量子的空间量子动量和空间量子能量分别为

$$P_K = \frac{\hbar}{r_K} K, \quad E_K = \frac{\hbar}{t_K} K, \quad (17)$$

其中, $\hbar = h/(2\pi)$ 为约化的普朗克常数.

4) 在 U 场中, γ 量子的空间量子动量和空间量子尺度分别存在一个不确定度 ΔP_K 和 Δr_K , 且它们满足量子力学的不确定性关系, 即

$$\Delta P_K \Delta r_K \geq \frac{\hbar}{2}. \quad (18)$$

5) 当 U 场处于量子态 K 时, γ 量子的空间量子动量和其不确定度, 空间量子尺度和其不确定度不能任意取值, 它们之间必须满足如下关系:

$$\frac{P_K}{\Delta P_K} = K, \quad \frac{r_K}{\Delta r_K} = K. \quad (19)$$

(19) 式可以作为量子数 K 的定义.

6) γ 量子不仅具有内禀的动量和能量, 而且还具有内禀的自旋. γ 量子的自旋包括两类: 一类由空间量子动量和空间量子尺度决定, 称为内自旋, 记为 S_i , 其大小定义为空间量子动量与空间量子尺度的大小的乘积; 一类由空间量子动量的不确

定度和空间量子尺度的不确定度决定, 称为外自旋, 记为 S_o , 其大小定义为空间量子动量的不确定度与空间量子尺度的不确定度的大小的乘积. 由 (15) 式和 (16) 式可得 γ 量子的内自旋的大小为

$$S_i = P_K r_K = E_K t_K = K\hbar. \quad (20)$$

可见, γ 量子的内自旋是量子化的, 且由量子数 K 决定. γ 量子的内自旋只能取 $\hbar$ 的整数倍, 因此, γ 量子是玻色子. 由 (19) 式和 (20) 式可得 γ 量子的外自旋的大小为

$$S_o = \Delta P_K \Delta r_K = S_i / K^2, \quad (21)$$

可见, γ 量子的外自旋由内自旋和量子数 K 决定. 当 $K = 0$ 时, $S_i = 0$, 此时, S_o 的取值不确定, 理论上, 它应该能取满足 (18) 式的任意一个数值. 当 $K > 0$ 时, (21) 式可化为

$$S_o = \hbar / K, \quad (22)$$

此时, γ 量子的外自旋也是量子化的, 且由量子数 K 决定. γ 量子的外自旋具有如下的特性: 基本粒子在与处于激发态的 U 场发生作用时, γ 量子能够将其外自旋赋予基本粒子, 使得基本粒子获得大小为 S_o 的自旋. 由 (20) 式和 (22) 式知, 在量子维度跃迁过程中, γ 量子的自旋将发生变化. 我们将 U 场满足的以上性质称为 U 场的基本量子特性.

其次, 根据 U 场的基本量子特性, 考察 U 场的其他重要特性. 当 $K > 0$ 时, 结合 (18) 式和 (22) 式立刻得到

$$K \leq 2. \quad (23)$$

可见, 在 U 场中, 量子数 K 只能取 0, 1 和 2 三个数值, 且 $K_m = 2$. 由 (14) 式可得 $l_m = 3$. 这至少表明两点.

1) γ 量子 (U 场) 只有 3 种. 当 $K = 0, 1, 2$ 时, 相应的 3 种 γ 量子 (U 场) 分别记为 $\gamma_0(U_0)$, $\gamma_1(U_1)$ 和 $\gamma_2(U_2)$. γ_0 , γ_1 和 γ_2 的内自旋分别为 0, $\hbar$ 和 $2\hbar$. γ_0 的外自旋不确定, 但 γ_1 和 γ_2 分别具有确定的外自旋 $\hbar$ 和 $\hbar/2$. U 场仅具有 3 个量子维度, 它是三维量子空间.

2) U 场的量子维度跃迁仅有 3 类: a 类, 在第一激发态 ($K = 1$) 和基态之间的量子维度跃迁; b 类, 在第一激发态和第二激发态 ($K = 2$) 之间的量子维度跃迁; c 类, 在基态和第二激发态之间的量子维度跃迁. 从而, U 场在量子维度跃迁中激发出的代粒子和与之对应的基本费米子只有三代.

进一步, U 场的每类量子维度跃迁又包括从

较高(低)的能量量子态向较低(高)的能量量子态的量子维度跃迁两种子跃迁.不妨规定在从较高(低)能量的量子态到较低(高)能量的量子态的量子维度跃迁过程中激发出的代粒子和与之对应的基本费米子为正(反)的代粒子和基本费米子.因此,正和反的代粒子和与之对应的基本费米子各有三代.三代基本费米子的产生源于 U 场的量子维度跃迁,因此,三代基本费米子的质量等级也必然由 U 场的能量等级特性和量子维度跃迁的特性决定.三代基本费米子与三类量子维度跃迁存在着一一对应关系.第三代基本费米子整体具有最大的质量,显然对应着 c 类量子维度跃迁.至于第一代或第二代基本费米子对应 a 和 b 两类量子维度跃迁的哪一种目前尚难判断.需要有一个(一组)描述 U 场量子特性的场方程,使我们能够通过该场方程获得 U 场确定的能级公式和量子维度跃迁的全部细节过程.寻找这样的一个(一组)场方程将是未来非常重要的工作.

基本费米子都具有 $\hbar/2$ 的自旋,根据 U 场的基本量子特性,基本费米子的自旋的起源可解释为:基本费米子产生时将与 U_2 场发生作用,这种相互作用可理解为基本费米子与 γ_2 量子的一种耦合,在作用过程中, γ_2 量子将 $\hbar/2$ 的外自旋赋予基本费米子.同理,传递强相互作用和电弱相互作用的规范玻色子具有的 $\hbar$ 自旋的来源可解释为:规范玻色子产生时将与 U_1 场发生作用,并获得 γ_1 量子的大小为 $\hbar$ 的外自旋.

根据 U 场的特性, U_0 场, U_1 场和 U_2 场通过量子维度跃迁可以相互转化,它们是 U 场的 3 种场量子态.对于 U 场与 4 种基本相互作用场(强相互作用场、电磁相互作用场、弱相互作用场和引力相互作用场)之间的关系,我们提出: U_1 场本质上应该是一种统一的规范作用场,具有自旋为 $\hbar$ 的 γ_1 量子本质上是一种统一的规范玻色子. U_1 场在宇宙的演化过程中将分化为电磁相互作用场、强相互作用场和弱相互作用场等 3 种基本相互作用场,相

应地, γ_1 量子也随之蜕化为传递 3 种基本相互作用的规范玻色子. U_2 场的场量子是自旋为 $2\hbar$ 的 γ_2 量子.根据无质量粒子的洛伦兹不变理论^[12],自旋量子数为 2 的无质量粒子具有引力子最显著的动力学特征,因此我们认为: U_2 场本质上应该是一种统一的引力场,相应地, γ_2 量子本质上是一种统一的引力子.目前,我们发现引力场只有一种, U_2 场在宇宙的演化过程中是否会分化为不同种类的引力相互作用呢?已经发现宇宙中存在暗物质和暗能量,它们之间的引力相互作用与普通物质之间的引力相互作用是否相同呢?这将是未来需要思考的一个重要问题. U_0 场的场量子是自旋为 0 的 γ_0 量子.我们认为: U_0 场是赋予基本粒子作用荷的场.随着宇宙的演化, U_0 场有可能分化为分别赋予基本粒子质量、电荷和色荷等作用荷的场.已经知道赋予规范玻色子和基本费米子质量的场是希格斯场.那么,可以设想在宇宙中应该还分布着赋予基本粒子其他作用荷的场.未来寻找赋予基本粒子各种作用荷的场量子将是非常有意义的工作.

参考文献

- [1] Abe S, Ebihara T, Enomoto S, et al. 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 221803
- [2] Allison W, Alner G J, Ayres D S, et al. 2005 *Phys. Rev. D* **72** 052005
- [3] Cao J 2014 *Scientia Sinica Physica, Mechanica & Astronomica* **44** 1025 (in Chinese) [曹俊 2014 中国科学: 物理学 力学 天文学 **44** 1025]
- [4] Bednyakov A, Pikelner A 2020 *Phys. Rev. D* **101** 091501(R)
- [5] Mohr P J, Newell D B, Taylor B N 2016 *Rev. Mod. Phys.* **88** 035009
- [6] Particle Data Group 2016 *Chin. Phys. C* **40** 100001
- [7] Zyla P A, Barnett R M, Beringer J, et al. 2020 *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2020** 083C01
- [8] Aghanim N, Akrami Y, Ashdowne Y, et al. 2020 *Astronomy & Astrophysics* **641** A6
- [9] Shu J 2018 *Chin. Sci. Bull.* **63** (in Chinese) [舒菁 2018 科学通报 **63**]
- [10] Bogdan A D, Patrick J F 2008 *J. High Energy Phys.* **2008** 100
- [11] Steven W 2020 *Phys. Rev. D* **101** 035020
- [12] Steven W 1964 *Phys. Rev.* **135** B1049

Mass distribution and generation of elementary fermions^{*}

Mi Li-Gong[†] Xie Quan Zhang Li Wu Zhong-Zu

(*College of Big Data and Information Engineering, College of Physics, Guizhou University, Guiyang 550025, China*)

(Received 7 May 2021; revised manuscript received 26 July 2021)

Abstract

In this paper, we study the mass distribution of elementary fermions and find a set of empirical relations to describe the mass distribution of elementary fermions. This inspires us to investigate in depth the origin of elementary fermion mass hierarchies and generations. We present a theoretical model to explain why the elementary fermions have three generations and discuss the origin of the fundamental fermion mass hierarchies and spin.

Keywords: mass hierarchies, elementary fermion, generation, spin

PACS: 12.10.Kt, 11.10.-z, 03.65.-w, 12.60.-i

DOI: [10.7498/aps.70.20210854](https://doi.org/10.7498/aps.70.20210854)

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11963003), the National SKA Program of China (Grant No. 2020SKA0110300), the Youth Science & Technology Talents Development Project of Guizhou Education Department, China (Grant Nos. KY[2018]433, 119), and the Guizhou University Talent Research Fund, China (Grant No. (2018)60).

[†] Corresponding author. E-mail: miligong@foxmail.com