

关于重矢量介子到 Higgs 粒子的辐射衰变

杨维明 戴巍

(中国科学技术大学)

朱重远

(中国科学院理论物理所)

摘 要

本文估计了矢量介子中间态对由重夸克组成的重矢量介子辐射衰变到 Higgs 粒子的宽度的贡献。在一些近似下,得到的结果比用自由夸克算得的数值大 4 倍。文中也讨论了这一结果对于将 $\xi(2.2)$ 解释为标量 Higgs 粒子的含意。

弱作用和电磁作用的 Glashow-Weinberg-Salam 理论^[1]在解释低能弱作用的各种现象方面取得了很大的成功。去年 Z^0 及 W^\pm 粒子的发现^[2]进一步给这一模型以有力的支持。但是,众所周知,在这一理论中还有着十分重要的预言至今没有得到实验的肯定,这就是 Higgs 粒子。按照最简单的 G-W-S 模型,至少应当存在着一种这类中性标量粒子。因此,从各种角度研究这些粒子的可能的实验迹象是有重要意义的。在这篇短文中,我们要分析由重夸克组成的矢量介子 V 辐射衰变产生这一粒子的过程。

早在 1977 年, F. Wilczek^[3] 就用自由重夸克对湮没为一个光子和一个 Higgs 粒子的机制计算了由重夸克组成的矢量介子辐射衰变产生 Higgs 粒子的宽度。他用的图象见图 1

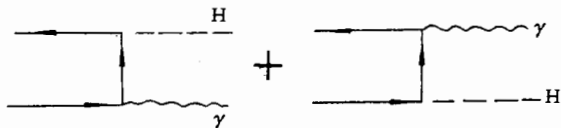


图 1

在这篇短文中,与他不同,我们采用一个不同的图象,即矢量介子中间态贡献为主的图象来分析这一问题,(见图 2)在一些近似下,得到的结果比他得到的宽度要大。下面给出我们的分析。

在分析之前,我们简单地回顾一下我们将要用到的 Higgs 粒子的性质。

Higgs 粒子与夸克、轻子及中间玻色子相互作用的拉氏量为

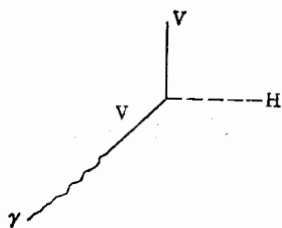


图 2

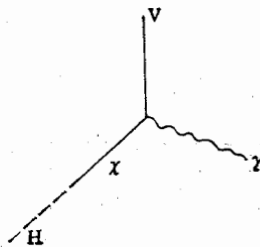


图 3

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{int}} = & - \sum_q \frac{m_q}{v} \bar{q}qH - \frac{1}{2} m_z^2 Z_\mu Z_\mu - \frac{m_z^2}{v} Z_\mu Z_\mu H \\ & - \frac{m_z^2}{2v^2} H^2 Z_\mu Z_\mu - m_W^2 \left(1 + \frac{2}{v} H + \frac{1}{v^2} H^2 \right) W_\mu^+ W_\mu^- \\ & - \frac{1}{2} m_H^2 H^2 - \frac{m_H^2}{2v} H^3 - \frac{m_H^2}{8v^2} H^4, \end{aligned} \quad (1)$$

注意,在包括进 QCD 时, Higgs 粒子相互作用仍是这一形式. 这一相互作用的重要特点是耦合常数依赖于夸克、轻子或中间玻色子的质量与 Higgs 场真空期望值 v 的比值, 粒子愈重, 耦合愈强, 轻的粒子则耦合很弱.

(1) 式描写的系统有着一个重要的特点: 正如文献 [4] 中所指出的, 基本 \mathcal{L} 中含 Higgs 场一次的相互作用项具有如下的形式:

$$\mathcal{L} = - \frac{1}{v} \theta_{\mu\mu} H + O(H^2), \quad (2)$$

其中, $\theta_{\mu\mu}$ 是“改进”的能量动量张量的迹. 后面我们将要用到这一特点.

下面我们假定图 2 的贡献是主要的, 并假定 $V - \gamma$ 耦合常数是 q^2 的缓变函数, 可延拓到 $q^2 = 0$ 处. 由此计算 $\Gamma(V \rightarrow \gamma H) / \Gamma(V \rightarrow \mu^+ \mu^-)$. 为此, 我们需要知道 VVH 顶角的有效作用.

直接从拉氏量(1)式, 可以看到 H 与重夸克的耦合为 $-\frac{m_q}{v} \bar{q}qH$, 其中 $m_q \bar{q}q$ 是该重夸克的质量算子, 因此该算子在重夸克组成的弱矢量介子束缚态 V 之间的期望值由该态中所含的重夸克质量决定, 数值为 $2m_q$. 因此, 在计算 $m_q \bar{\psi}\psi$ 在单个 V 态之间的矩阵元时可以近似地用有效作用

$$2m_q \cdot m_V V_\mu V_\mu. \quad (3)$$

代替.

我们也可以从另一种角度来考虑这一问题. 如果合理地假定基本作用量的 $\theta_{\mu\mu}$ 算子是整个体系的能量动量张量的迹, 则对于束缚态体系, 此算子的作用可以用该体系的等效能量动量张量的迹代替, 因此在 V 系统中, $\theta_{\mu\mu}$ 有效算符中只含二次 V_μ 场的项为

$$m_V^2 V_\mu V_\mu. \quad (4)$$

鉴于对于 V 态 $m_V \approx 2m_q$, 两种论证得到的结果基本一致 (注意此项是通常质量项的两倍). 将(4)式与(2)式合起来, 我们得到有效 VVH 耦合形式为:

$$\text{有效 } \mathcal{L}_{\text{VvH}} = -\frac{m_V^2}{v} V_\mu V_\mu H \quad (5)$$

比较一下此项与 $Z^0 Z^0 H$ 作用项也是很有趣的。在 Z^0 情形，由于 Z^0 的质量及与 H 的作用均来自于 $-\frac{e^2}{2\sin^2\theta_W}(H+v)^2 Z_\mu Z_\mu$ 项，所以 $Z^0 Z^0 H$ 项与质量项之比是 $\frac{2}{v}$ ，与这里类似。

应用(5)式计算 $V \rightarrow \gamma H$ 的宽度并与 $V \rightarrow \mu^+ \mu^-$ 的宽度比较，即得

$$\frac{\Gamma(V \rightarrow \gamma H)}{\Gamma(V \rightarrow \mu^+ \mu^-)} = \frac{G_F m_V^2}{\sqrt{2} \pi \alpha} \left(1 - \frac{m_H^2}{m_V^2}\right) \quad (6)$$

这里我们已用 $v = 2^{-1/4} G_F^{-1/2}$ 代入，这一结果是用图1计算的结果的四倍^[3,5]。

最近，MARK III组报导了^[6]在 J/ψ 辐射衰变过程中发现了 $\xi(2.2)$ 粒子。它是通过

$$J/\psi \rightarrow \gamma + \xi(2.2) \\ \downarrow \\ \rightarrow K^+ K^-, K_s K_s$$

发现的，测得的质量是

$$m_\xi = 2.22 \pm 0.015 \pm 0.02 \text{ GeV}$$

分支比为

$$BR(J/\psi \rightarrow \gamma + \xi) BR(\xi \rightarrow K^+ K^-) = (8.0 \pm 2.0 \pm 1.6) \times 10^{-5} \quad (7)$$

宽度与分辨率一致，为

$$\Gamma_\xi = (30 \pm 15 \pm 20) \text{ MeV} \quad (8)$$

文献[5]中分析了将这一事例解释为单个 Higgs 二重态模型中 H^0 的可能性。他们的分析使用了文[3]计算 $\Gamma(J \rightarrow \gamma H)/\Gamma(J \rightarrow \mu^+ \mu^-)$ 的机制，在对 H 衰变到 $K^+ K^-$ 分支比作假定后，他们得到分支比乘积的估算值为

$$BR(J/\psi \rightarrow \gamma H) BR(H \rightarrow K^+ K^-) \lesssim (0.5 \pm 0.1) \times 10^{-5} \quad (9)$$

比(7)式小了一个数量级，这是他们认为实验不利于将 $\xi(2.2)$ 解释为 H^0 粒子的主要理由。

现在，如果用本文的图象，即 $J/\psi \rightarrow \gamma H$ 衰变以 J/ψ 中间态贡献为主，则 $BR(J/\psi \rightarrow \gamma H)$ 要比他们算出的数值大四倍，即

$$BR(J/\psi \rightarrow \gamma H) BR(H \rightarrow K^+ K^-) \lesssim (2.0 \pm 0.4) \times 10^{-5}$$

与实验的数值就相距不远了。此外还应提到，理论上对于是否应当把图1及图2的振幅加起来众说不一，至今没有一致的意见以及有力的清楚的论证。我们对此将不加评论地指出，由于两个图的振幅的位相相同，如果允许加起来，则 $\Gamma(J/\psi \rightarrow \gamma H)$ 的估计值将要比文[5]所用的大9倍，与实验的结果就十分接近了。

不过，应当强调，对于这一结果我们不要过于乐观，这是因为在我们的分析中还存在着许多重要的不确定性：

(1) 在分析 VVH 顶角时，我们用了点模型极限，但实际上由于 V 粒子是复合的，在此顶点处一般会出现一个形状因子，使有效耦合常数减小。

(2) 原则上，在微扰论的同一阶次，我们还可以有图3类型的图，即标量介子中间态的贡献。由于标量 X 介子的质量并不比 J 粒子大很多，这一贡献不一定不重要。不过，由于我们对 $X-H$ 顶角缺乏有根据的估计，我们在这里只是简单地略去此图的贡献。其它更

高质量中间态的贡献也忽略了。它们完全有可能作出较大的贡献。

(3) 实际上,对于 $BR(H \rightarrow K^+K^-)$ 的估计是依赖于对此衰变作用的具体假定的,文[5]中假定终态比例由 K^+K^- , $K^0\bar{K}^0$ 及 $K^+\bar{K}^*$ 按自由度分配,由此估计 $BR(H^0 \rightarrow K^+K^-) \leq \frac{1}{6}$,但是如果H与这些终态粒子的作用比例于这些粒子的质量,则 $BR(H \rightarrow K^+K^-)$ 会小得多,从而使得算得的 $BR(J/\psi \rightarrow \gamma H)BR(H \rightarrow K^+K^-)$ 比(7)式小得多。

综上所述,从我们的分析可知,中间态矢量介子对 $V \rightarrow \gamma H$ 的贡献很可能是十分重要的。对于重夸克组成的矢量介子,我们算出它的贡献比自由夸克中间态贡献要大。虽然由于我们指出的理论估计上存在的许多不确定因素,使得我们至今还不能肯定 $\xi(2.2)$ 究竟是不是 Higgs 粒子,但这一机制的存在已足以使得结果与 Haber 及 Kane 的分析不同。从我们的分析看,目前,还不能肯定地排除 $\xi(2.2)$ 是 H^0 。实验上进一步将数据精确化,进一步测量 $\xi(2.2)$ 的各种终态分支比,确定是否终态主要是含 S 夸克的粒子,等等。对于检验它究竟是否为 Higgs 粒子是很有用的。

作者感谢李小源、张肇西、周光召、何祚庥等同志的有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] S. L. Glashow, Nucl. Phys., 22(1961), 579; S. Weinberg, Phys. Rev. Lett., 19(1967), 1264; A. Salam, Proc. 8th Nobel Symposium p. 367.
- [2] G. Arnison, et al. Phys. Lett., 122B(1983), 103, M Banher, et al. Phys. Lett., 122B (1983), 476; G. Arnison, et al. Phys. Lett., 126B(1983), 398; P. Bagnaia, et al. Phys. Lett., 129B(1983), 130.
- [3] F. Wilczek, Phys. Rev. Lett., 39(1977), 1304.
- [4] J. Ellis, et al. Nucl. Phys., B106(1976), 292.
- [5] H. E. Haber, G. L. Kane, Phys. Lett., 135B(1984), 196
- [6] W. Toki, SLAC-PUB-3262(1983).

ON THE RADIATIVE DECAY OF HEAVY VECTOR MESON- INTO Higgs PARTICLE

YANG WEI-MING DAI WEI

(University of Science and Technology of China)

ZHU ZHONG-YUAN

(Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

An estimation of the contribution from the vector meson intermediate state to the width of the radiative decay of a heavy vector meson into Higgs particle is given. Under some approximation, it exhibits a value four times larger than that obtained by using free quark picture. We also discuss the implication of this result for interpreting $\xi(2.2)$ as Higgs scalar.