

关于动力学自发破缺对称性的评论

戴元本 吴咏时

李华钟

(中国科学院物理研究所)

(中山大学物理系)

S. Coleman和E. Weinberg在他们一篇被普遍地引用的论文^[1]中证明：无质量标量粒子在同电磁场相互作用下，由于辐射修正，可以使标量粒子变成带质量的，矢量场也变成带质量的，其结果是有质量的标量粒子同有质量的矢量粒子。这是对对称性的自发破缺的一个典型例子。辐射修正可以引起系统的对称性的自发破缺，这一般称为对称性的动力破缺。在现在广泛引起注意的自发破缺规范场理论中，这种机制可以避免引入外加反符号的质量项的Higgs标量，许多作者对此作了不少研究。

然而，最近在一篇短文^[2]中，Б.Л.ИоФфе等对Coleman-Weinberg(以下简称C-W)的论证提出了反对的意见。他们认为辐射修正不仅不能有助于驱使对称性自发破缺，而且比之树图情况更难产生自发破缺。他们还引证了另一篇论文^[3]，说也得到相同的结论。

由于C-W的工作有一定的重要性，在我们这篇短文里，想对Б.Л.ИоФфе等的论证作一些分析。我们认为，ИоФфе等对C-W的批评完全是基于误解，他们所说的理论同C-W所说的是两码事。就他们自身所说的论证来说，也是建立在误解的概念上的，因而也是没有根据的。另一方面他们引用的文献^[3]作为支持他们的论点，这也是误解的。文献^[3]仅在强调圈图近似的适用性可能成问题^(*)，而不在于辐射修正能否产生对称性的自发破缺。

C-W讨论的是一个无质量的理论($\lambda\phi^4$ 理论和标量电动力学)，在拉氏密度L中是没有重整化了的质量项的。对于这种理论，对称性的自发破缺(以下简称SSB)并不由参数 m^2, m_0^2 的正或负来决定，在L中没有 m ，而只在抵消项中出现 m_0 ，这个抵消项的参数与SSB无关。

ИоФфе等的文中(以下简称INS)，他们的L有裸质量项 $m_0^2\phi^2$ ，一般是一个 $m^2 \neq 0$ 的理论，与C-W文中主要讨论的无质量理论是不同的。 $m^2 = 0$ 的情况INS并未仔细研究。至于有质量的 $\lambda\phi^4$ 理论和有质量的标量电动力学，人们相信标志有无SSB的参数是重整化了的参数 m^2 ，而不是 m_0^2 。当 $m^2 > 0$ 时是正常的对称性， m 是

重整化了的质量。当 $m^2 < 0$ 时是SSB理论, 这时 m 不能解释为质量。质量只出现在把 ϕ 场平移 (shifting) 之后。 $m^2 = 0$ 时由辐射修正产生的SSB是动力学破缺。在一圈图近似下, 区别Higgs机制的SSB和动力学的SSB的条件是重整化了的参数 $m^2 < 0$ 或 $m^2 \geq 0$, 而不是 $m_0^2 < 0$ 或 $m_0^2 \geq 0$, 因而他们所说的 $m_0^2 < \widetilde{m}^2 < 0$ 是毫无意义的。顺便说说, C—W文中(3.6)式的B值同INS文中的 \widetilde{m}_0^2 是近似相当的, 它的确是一个负数, 但它是抵消项的系数, 同SSB并无直接的关系。

INS文中说到C—W在 $\varphi = M$ 处作耦合常数重整化, 导致多出了一项 $\ln \frac{\varphi^2}{M^2}$, 因而才会有出现表现的SSB, 实际上, 在标量电动力学的例子中C—W并不在 $\varphi = M$ 处重整化, 而是在 $\varphi = \langle \varphi \rangle$ 作重整化, 这也正是INS文中认为恰当的重整化点, 然而在这时仍然有一项 $\ln \frac{\varphi^2}{\langle \varphi \rangle^2}$ 也导致SSB。

对于 $\lambda\phi^4$ 理论, C—W文中已指出, 他们所得到的有效势的极小值并不是实质的, 而是所采用的近似所造成的, 因而不能认为是SSB的表现。这一点同文献^[3]所说 $\lambda\phi^4$ 理论在一圈近似下, 辐射修正导致SSB的不自洽性并不矛盾^(*)

INS一文的错误在于, 他们把在树图近似下对于理论是否有自发破缺, 以及区别Higgs SSB和动力学SSB的判据, 误以用于圈图近似, 通常在树图近似下, 对于有质量的 $\lambda\phi^4$ 理论可以简单地考虑 $m_0^2 \geq 0$ 或 < 0 , 而在计及辐射修正后应该考虑的是 m^2 而不是 m_0^2 。另一方面他们对于C—W的批评, 则是把无质量理论与有质量理论混淆起来。

参 考 文 献

- [1] S. Coleman, E. Weinberg Phys. Rev. D7(1973), 1888.
- [2] B. L. Ioffe, V. A. Novikov, M. A. Shifman Phys Lett 53B, (1975) 467
- [3] И. А. Баталин, И. В. Тютин Ядер. Физ. 20(1974), 569.

(*) 本文付排后, 继续对(2)、(3)两文的分析研究表明: 文(3)提出对一圈近似的不自洽性的怀疑是没有根据的, 他们的论据是不正确的。文(2)除了在本文所指出的概念上的错误外, 还有其它方法上和计算上的错误。对上述问题, 我们将另文作进一步分析。