김일성종합대학학보 JOURNAL OF **KIM IL SUNG** UNIVERSITY
(자연과학) (NATURAL SCIENCE)
주체106(2017)년 제63권 제4호 Vol. 63 No. 4 JUCHE106(2017).

대칭성의 파괴로 인한 빛량자의 2중유효질량에 대한 연구

리성진, 리창남, 고영해

위대한 령도자 **김정일**동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《소립자론과 마당론에 대한 연구에도 힘을 넣어야 합니다. 소립자론과 마당론은 물질세계의 본질을 해명하기 위한 기초원리적인 과학분야이므로 리론물리학부문에서는 마땅히 여기에 힘을 넣어야 합니다.》(《**김정일**전집》 제4권 410～411페지)

전자기마당이 원천량으로 전하만을 가지고있는 경우 빛량자의 유효질량에 대한 문제는 이미 론의[1, 2, 4－6]되였지만 전하와 함께 자하를 가지고있는 경우[3]에는 리론적으로 연구되지 않았다.

론문에서는 첸－씨몬스게이지리론에 기초하여 전자기마당이 원천량으로서 전하와 함께 자하를 가지는 경우에 빛량자의 유효질량문제를 리론적으로 고찰하였다.

1. 라그랑쥬형식론

일반적으로 로렌츠대칭이 만족되는 경우에 전하와 자하를 동시에 고려한 전자기마당의 라그랑쥬안은 다음과 같다.

$$L_0=-\frac{1}{4}[F_{\mu\nu}(e)F^{\mu\nu}(e)+F_{\mu\nu}(g)F^{\mu\nu}(g)]+j_\mu(e)A^\mu(e)+j_\mu(g)A^\mu(g) \tag{1}$$

여기서 $F_{\mu\nu}(e)$와 $F_{\mu\nu}(g)$는 립자의 전하와 자하에 대한 전자기마당의 텐소르이고 $j_\mu(e)$와 $j_\mu(g)$는 립자의 전하와 자하의 흐름밀도 그리고 $A^\mu(e)$와 $A^\mu(g)$는 립자의 전하와 자하에 대응하는 벡토르포텐샬이다.

만일 빛량자가 질량을 가진다면 전하에 의한 질량몫과 자하에 의한 질량몫으로 나누어 고찰할수 있다. 즉

$$L_0=-\frac{1}{4}[F_{\mu\nu}(e)F^{\mu\nu}(e)+F_{\mu\nu}(g)F^{\mu\nu}(g)]+\frac{1}{2}[m_e^2A_\mu(e)A^\nu(e)+m_g^2A_\mu(g)A^\nu(g)] \tag{2}$$

여기서 m_e와 m_g는 립자의 전하와 자하에 의한 빛량자의 질량몫이다.

첸－씨몬스게이지리론에 기초하여 로렌츠대칭의 자발파괴로 빛량자가 질량을 획득한다고 생각하면 라그랑쥬안은 다음과 같이 표시된다.

$$L=L_0+\frac{1}{4}K(e)e^{\mu\nu\rho}A_\mu(e)\partial_\nu A_\rho(e)+\frac{1}{4}K(g)e^{\mu\nu\rho}A_\mu(g)\partial_\nu A_\rho(g) \tag{3}$$

여기서 첸－씨몬스결수 $K(e)$와 $K(g)$는 립자의 전하와 자하에 해당한 물리적량으로서 립자의 질량을 대표한다.

만일 식 (3)에서 $K(g)=0$인 경우에는 선행연구결과[1, 2]와 일치한다.

일반적으로 첸－씨몬스결수가 벡토르인 경우 라그랑쥬안은 다음과 같다.

$$L = L_0 + \frac{1}{2} K_\sigma(e) e^{\mu\nu\lambda\sigma} A_\mu(e) F_{\nu\lambda}(e) + \frac{1}{2} K_\sigma(g) e^{\mu\nu\lambda\sigma} A_\mu(g) F_{\nu\lambda}(g) \tag{4}$$

여기서 첸－씨몬스결수 $K_\sigma(e)$ 와 $K_\sigma(g)$ 는 립자의 전하와 자하에 해당하는 4차원벡토르로서 $K_\sigma(k_0, k_1, k_2, k_3)$ 을 의미한다. 이것은 마치 매질속에서 빛량자가 정상빛량자와 이상빛량자 그리고 세로빛량자로서의 물리적성질을 나타내는 현상과 류사하다.

2. 기본방정식

론문에서는 첸－씨몬스결수가 스칼라인 경우와 벡토르인 경우 관계식 (3)과 (4)에 따라 마당에 대한 라그랑쥬방정식을 리용하여 운동방정식을 다음과 같이 구성하였다.

1) 첸－씨몬스결수가 스칼라인 경우

$$\begin{aligned} \partial_\mu F^{\mu\nu}(e) + 2K(e) e^{\nu\alpha\beta} F_{\alpha\beta}(e) = 0 \\ \partial_\mu F^{\mu\nu}(g) + 2K(g) e^{\nu\alpha\beta} F_{\alpha\beta}(g) = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

2) 첸－씨몬스결수가 벡토르인 경우

$$\begin{aligned} \partial_\mu F^{\mu\nu}(e) + 2K_\sigma(e) e^{\sigma\nu\alpha\beta} F_{\alpha\beta}(e) = 0 \\ \partial_\mu F^{\mu\nu}(g) + 2K_\sigma(g) e^{\sigma\nu\alpha\beta} F_{\alpha\beta}(g) = 0 \end{aligned} \tag{6}$$

방정식 (5)와 (6)에서 알수 있는바와 같이 첸－씨몬스결수 K 는 빛량자의 질량에 대응한다. 즉 첸－씨몬스결수 $K(e)$ 는 빛량자의 전하와 관련된 질량항이고 $K(g)$ 는 빛량자의 자하와 관련된 질량항이다. 이처럼 립자의 전하와 자하에 대한 전자기마당의 리론에 의하면 빛량자가 2중적성격을 가지는 유효질량을 가지게 된다.

3. 매질속에서의 2중질량효과

일반적으로 매질속에서 립자의 전하와 자하에 의한 전자기마당의 라그랑쥬안은 다음과 같다.

$$L' = -\frac{1}{4}[G_{\mu\nu}(e) G^{\mu\nu}(e) + G_{\mu\nu}(g) G^{\mu\nu}(g)] \tag{7}$$

여기서 전자기마당의 텐소르 $G_{\mu\nu}$ 는 매질의 분극－자화텐소르 $S_{\mu\nu}$ 에 의하여 일반적으로

$$G_{\mu\nu} = F_{\mu\nu} - S_{\mu\nu} \tag{8}$$

와 같이 결정된다.

이제 매질속에서 립자의 전하와 자하에 의한 전자기마당의 라그랑쥬안의 구체적인 모양을 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L' = -\frac{1}{4}[& F_{\mu\nu}(e) F^{\mu\nu}(e) + F_{\mu\nu}(g) F^{\mu\nu}(g) + \\ & + S_{\mu\nu}(e) S^{\mu\nu}(e) + S_{\mu\nu}(g) S^{\mu\nu}(g) - 2(F_{\mu\nu}(e) S^{\mu\nu}(e) + F_{\mu\nu}(g) S^{\mu\nu}(g))] \end{aligned} \tag{9}$$

만일 립자의 고유전기 및 자기모멘트를 고려하는 경우에는 4차원 2중극모멘트텐소르 $M_{\mu\nu}$ 에 의하여

$$L' = -\frac{1}{4}[F_{\mu\nu}(e)F^{\mu\nu}(e) + F_{\mu\nu}(g)F^{\mu\nu}(g) - S_{\mu\nu}(e)S^{\mu\nu}(e) - S_{\mu\nu}(g)S^{\mu\nu}(g) -$$
$$-2(F_{\mu\nu}(e)S^{\mu\nu}(e) + F_{\mu\nu}(g)S^{\mu\nu}(g))] + \frac{1}{2}M_{\mu\nu}(F^{\mu\nu}(e) + \tag{10}$$
$$+F^{\mu\nu}(g) - S^{\mu\nu}(e) - S^{\mu\nu}(g))$$

가 된다.

식 (10)의 라그랑쥬안을 일반적으로 $L' = L_1 + L_2 + L_3$ 으로 표시하면 L_1 은 진공속에서 전하와 자하에 의한 라그랑쥬안이고 L_2 는 매질속에서 분극-자화에 의한 전자기마당의 라그랑쥬안, L_3 은 립자의 고유전기 및 자기모멘트에 의한 라그랑쥬안이다.

이제 매질속에서 첸-씨몬스결수가 스칼라와 벡토르인 경우에 라그랑쥬안을 쓰면 각각 다음과 같다.

$$L_1' = -\frac{1}{4}(G_{\mu\nu}(e)G^{\mu\nu}(e) + G_{\mu\nu}(g)G^{\mu\nu}(g)) + \frac{1}{4}Ke^{\mu\nu\rho}(\partial_\nu A_\rho(e) + \partial_\nu A_\rho(g)) \tag{11}$$

$$L_2' = -\frac{1}{4}(G_{\mu\nu}(e)G^{\mu\nu}(e) + G_{\mu\nu}(g)G^{\mu\nu}(g)) + \frac{1}{2}Ke^{\mu\nu\lambda\rho}(A_\mu(e)G_{\nu\lambda}(e) + A_\mu(g)G_{\nu\lambda}(g)) \tag{12}$$

이상의 관계식들에 의하여 매질속에서 첸-씨몬스결수가 스칼라인 경우와 벡토르인 경우에 마당방정식을 쓰면 형식상 다음과 같다.

1) 첸-씨몬스결수가 스칼라인 경우

$$\begin{aligned} \partial_\mu G^{\mu\nu}(e) + 2K(e)e^{\nu\alpha\beta}G_{\alpha\beta}(e) = 0 \\ \partial_\mu G^{\mu\nu}(g) + 2K(g)e^{\nu\alpha\beta}G_{\alpha\beta}(g) = 0 \end{aligned} \tag{13}$$

2) 첸-씨몬스결수가 벡토르인 경우

$$\begin{aligned} \partial_\mu G^{\mu\nu}(e) + 2K_\sigma(e)e^{\sigma\nu\alpha\beta}G_{\alpha\beta}(e) = 0 \\ \partial_\mu G^{\mu\nu}(g) + 2K_\sigma(g)e^{\sigma\nu\alpha\beta}G_{\alpha\beta}(g) = 0 \end{aligned} \tag{14}$$

식 (13)과 (14)에서 알수 있는바와 같이 전자기마당속에 매질이 없는 경우와 매질이 있는 경우에 형식상 $F_{\mu\nu} \leftrightarrow G_{\mu\nu}$ 로 표시바꿈을 한것처럼 보이지만 내용적으로는 매질의 분극-자화텐소르 $S_{\mu\nu}$ 의 효과가 새롭게 반영되게 된다.

립자의 전하와 자하 그리고 전기 및 자기2중극모멘트를 고려하는 경우에는 2중극모멘트텐소르 $M_{\mu\nu}$ 에 의한 보충적마당효과가 나타나게 된다.

맺 는 말

론문에서는 전자기마당이 전하와 함께 자하를 가진다면 빛량자는 자발대칭파괴로 원리적으로 2개 류형의 유효질량을 가질수 있다는것을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] 고영해 등; 조선민주주의인민공화국 과학원통보, 6, 23, 주체96(2007).
[2] 리광 등; 조선민주주의인민공화국 과학원통보, 4, 39, 주체98(2009).
[3] Journal of **Kim Il Sung** University(Natural Science), 4, 2, 39, Juche104(2015).
[4] B. G. Sidharth; arXiv:0706.3319.
[5] M. I. Vysotsky; arXiv:1205.6983.
[6] J. Heeck; arXiv:1302.2821.

주체105(2016)년 12월 5일 원고접수

On the Twofold Effective Mass of a Photon by Symmetry Breaking

Ri Song Jin, Ri Chang Nam and *Ko Yong Hae*

Based on the Chen-Simons gauge theory, we study on the effective mass of a photon in case that the electromagnetic field has the magnetic charge as well as electric charge as its source.

When the electromagnetic field has the magnetic charge along with the electric charge, it is shown that in principle a photon may have two kinds of effective mass by the symmetry breaking.

Key words: effective mass, symmetry breaking